

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zastavování pneumatického válce v mezipoloze – porovnání možných způsobů
řešení, přesnost, spolehlivost.

Pneumatic Cylinder Intermediate Position Stopping – Different Design
Comparison, Accuracy, Reliability.

Student:

Bc. Jakub Martynek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miloslav Žáček

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Martynek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: Zastavování pneumatického válce v mezipoloze - porovnání možných způsobů řešení, přesnost, spolehlivost.
Pneumatic Cylinder Intermediate Position Stopping - Different Design Comparison, Accuracy, Reliability

Zásady pro vypracování:

Porovnejte a zhodnoťte možné způsoby zastavování pneumatického válce v mezipoloze s ohledem na přesnost a spolehlivost.
Vypracujte návrhy pneumatických obvodů vč. volby a specifikace prvků pro zastavování v mezipoloze.
Proveďte měření v laboratoři pneumatických mechanismů a vyhodnoťte jeho výsledky. Prověřte vlastnosti pneumatického servopohonu a možnosti Soft Stopu.

Seznam doporučené odborné literatury:

EXACTEC Liberec. *Mezipoloha ZA 20/25*. Dostupné z [www: < http://www.afag.exactec.com/index.php/pneumex/lm-linearni-moduly/60-pisluenstvi>](http://www.afag.exactec.com/index.php/pneumex/lm-linearni-moduly/60-pisluenstvi)
FESTO AG & Co. Esslingen: *Neu. Soft Stop*. Info 303. 34 s.
SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Brno: *SMC Training. Stlačený vzduch a jeho využití*. 344 s.
Katalogy firem Festo, SMC

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

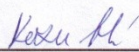
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miloslav Žáček**


Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Benda

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
plné jméno autora práce

Lidická, 627 Třinec, 73961

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MARTYNEK, J. Zastavování pneumatického válce v mezipoloze – porovnání možných způsobů řešení, přesnost, spolehlivost: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2011, 62s. Vedoucí práce: Žáček, M.

Diplomová práce se zabývá způsoby zastavování pneumatického válce v mezipoloze. Je zde vypracována literární rešerše k tématu a popis jednotlivých prvků, jejich specifikace a princip funkce. Dále jsou sestavena schémata jednotlivých obvodů, které jsou následně sestaveny a měřeny v laboratoři pneumatických mechanismů. Nachází se zde i popis Soft Stopu s SPC11 a jeho možností. Jednotlivé způsoby zastavování v mezipoloze jsou následně zhodnoceny a porovnány.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MARTYNEK, J. Pneumatic Cylinder intermediate position stopping – different design comparison, accuracy, reliability: Master Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment , 2011, 61p. Thesis head: Žáček, M.

This Master thesis deals with the ways of pneumatic cylinder intermediate position stopping. There is the literary research on the topic and description of elements, their specifications and function principles. Further are composed schemes of circuits that are then designed and measured in a laboratory of pneumatic mechanisms. There is also a description of the Soft Stop SPC11 and its possibilities. The various ways of stopping in the intermediate position are then evaluated and compared.

Obsah:

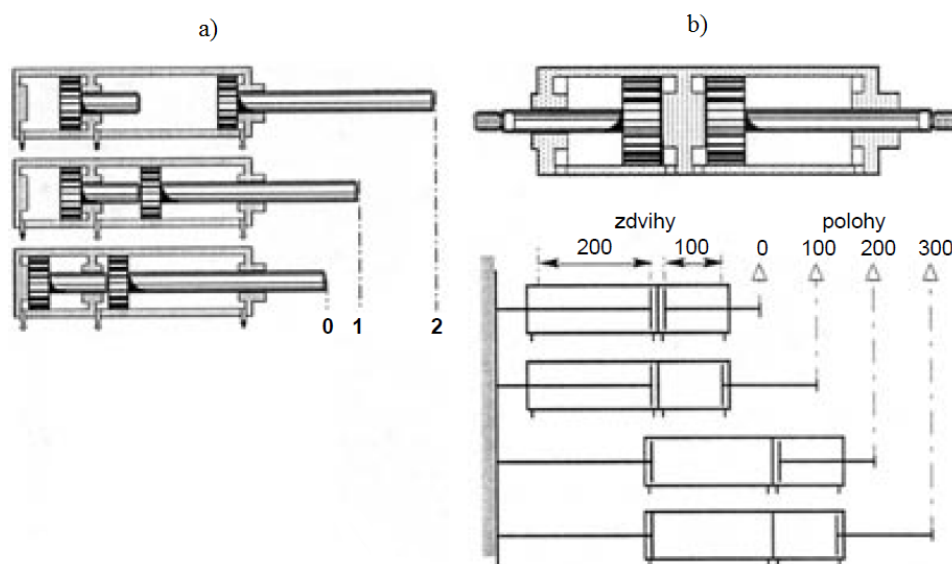
1. Úvod	7
1.1 Mezipoloha	8
1.2 Pneumatické válce	9
1.3 Odměřování polohy	17
1.4 Proporcionální řízení	20
2. Metodika měření	33
2.1 Popis a zapojení mechanismu	33
2.2 Postup měření	36
2.3 Měřicí přístroj M5050	36
2.4 Výpočet chyby měření	38
3. Popis měření	44
3.1 Elektropneumatický obvod s rozvaděčem 5/3	44
3.2 Elektropneumatický obvod s brzdou	46
3.3 Elektropneumatický obvod s řízenými ventily ASP	48
3.4 Pneumatický obvod s řízenými ventily ASP	50
3.5 Pneumatický obvod s brzdou	52
3.6 Pneumatický obvod s brzdou a ASP	54
3.7 Specifikace použitých prvků	56
4. Porovnání a vyhodnocení	63
5. Literatura	64

1. Úvod:

Z nabídky diplomových prací na katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení VŠB-TU Ostrava jsem si vybral zadání, které se zabývá problematikou zastavování pneumatického válce v mezipoloze. Jeho přesné znění je: Zastavování pneumatického válce v mezipoloze – porovnání možných způsobů řešení, přesnost, spolehlivost. Práce obsahuje literární rešerši ve stylu výpisu literatury použité k vypracování a stručný popis, čím se jednotlivé zdroje zabývají a jaké informace jsou zajímavé pro konkrétní zadání. V další části jsou popsány základní principy funkce pneumatických válců a jejich provedení. Následně je definována mezipoloha a různé způsoby její realizace pomocí pneumatických, elektrických a mechanických prvků. Je zde uveden i podrobnější popis jednotlivých prvků, čidel a systémů pro odměřování polohy respektive vzdálenosti. Jedna kapitola je věnovaná možností Soft Stopu s SPC11. Následuje specifikace použitého pneumoválce, jeho upevnění, zatížení a popis zapojení do jednotlivých obvodů. Uvedeny jsou i konkrétní použité prvky v obvodech, jejich popis, princip funkce a technické údaje. Postup měření obsahuje důležitou součást, kterou jsou výpočty chyby a nejistoty v měření. Ve vyhodnocení měření jsou vloženy schémata řešených obvodů, naměřené hodnoty a z nich vyplývající výsledky. V závěru jsou tyto výsledky porovnávány a hodnoceny. Měřeným pneumatickým válcem byl typ C92LADB50-500D od firmy SMC Industrial Automation CZ s.r.o. zapůjčený Ing. Pavlem Bendou. Veškerá měření byla provedena v laboratoři pneumatických mechanismů na VŠB-TU Ostrava.

1.1 Mezipoloha:

Pokud jsou používány standardní pneumatické válce, je možno dosáhnout pouze dvou poloh pístu, které odpovídají poloze pístnice při zasunutí a vysunutí. Mnoho aplikací v automatizační technice však vyžaduje více než tyto dvě polohy. U hydraulických válců je dosažení mezipolohy podstatně jednodušší což umožňuje pracovní kapalina, kterou bývá většinou olej, a její vlastnosti, především její relativní nestlačitelnost. V případě pneumatického pohonu je však dosažení mezipolohy mnohem složitější. Pokud je vyžadováno dosažení jedné nebo dvou neměnných mezipoloh, můžeme použít kombinaci dvou pneumomotorů v následujících provedeních:



Obr. 1.1-1 Provedení vícepolohových válců

Na obrázku 1.1-1a) je zapojení dvou pneumatických válců s různými zdvihy. Pokud přivedeme vzduch za první nebo druhý píst, dosáhneme polohy 1 nebo 2, pokud budou oba válce zasunuty, dosáhneme polohy 0.

Obrázek 1.1-1b) ukazuje provedení pro 4 polohy, kdy dva pneumatické válce s různými zdvihy jsou spojeny dny k sobě, přičemž pístnice jednoho je pevně spojena se zařízením.

Tyto způsoby dosahování mezipolohy jsou však použitelné jen na jednodušší aplikace. V následující kapitole jsou popsány způsoby řešení pomocí válců s brzdou. V kapitole 1.3 je popsáno zastavování pomocí proporcionálního řízení a v kapitole 1.4 pomocí zámků.

1.2 Pneumatické válce:

Jsou konstrukčně velice podobné hydraulickým přímočarým motorům. Oproti nim mají několik výhod, kterými jsou zejména: jednoduchost konstrukce, technologická nenáročnost na výrobu, možnost dosažení vysokých rychlostí a dynamiky při vysouvání, použitelnost v prašném prostředí nebo v prostředí s nebezpečím výbuchu a v prostředí náročném na čistotu (potravinářský, farmaceutický, chemický průmysl). Princip jejich funkce spočívá ve využití stlačeného vzduchu, resp. jeho tlaku, jako pracovního média, které působí na plochu pístu a tím vyvolává sílu přenesenou na pístnici a mechanismus. Problémem stlačeného vzduchu jako pracovního média je jeho relativně nízký pracovní tlak a jeho vlastnosti. Ty způsobují nevýhody oproti hydraulickým motorům a to nepřesnou regulaci rychlosti a obtížné řízení velikosti zdvihu mezi krajními polohami. Pneumomotory se konstruují v mnoha provedeních pro různé aplikace. Základní rozdělení tvoří válce s pístnicí a bezpístnicové válce. Válce s pístnicí mohou být s jednostrannou nebo oboustrannou pístnicí, válce s podélným vedením nebo bez něj. Pístnice může být klasická, válcového průměru nebo zajištěná proti pootočení buď a to buď vedením, nebo hranatým průřezem. Také zakončení pístnice se nabízí v mnoha variacích (závit, oko, přísavka). Bezpístnicové válce mohou být v provedení s magnetickým nebo mechanickým přenosem síly, s kluzným nebo valivým vedením. Také tvar pístu může být kruhový i eliptický. Stejně tak se tyto válce vyrábí i s příslušenstvím jako jeden celek např. válce s odměřováním polohy, válce s brzdou.



Obr. 1.2-1 Přímočarý pneumomotor



Obr. 1.2-2 Přímočarý bezpístnicový pneumomotor

Pneumatický válec s brzdou:

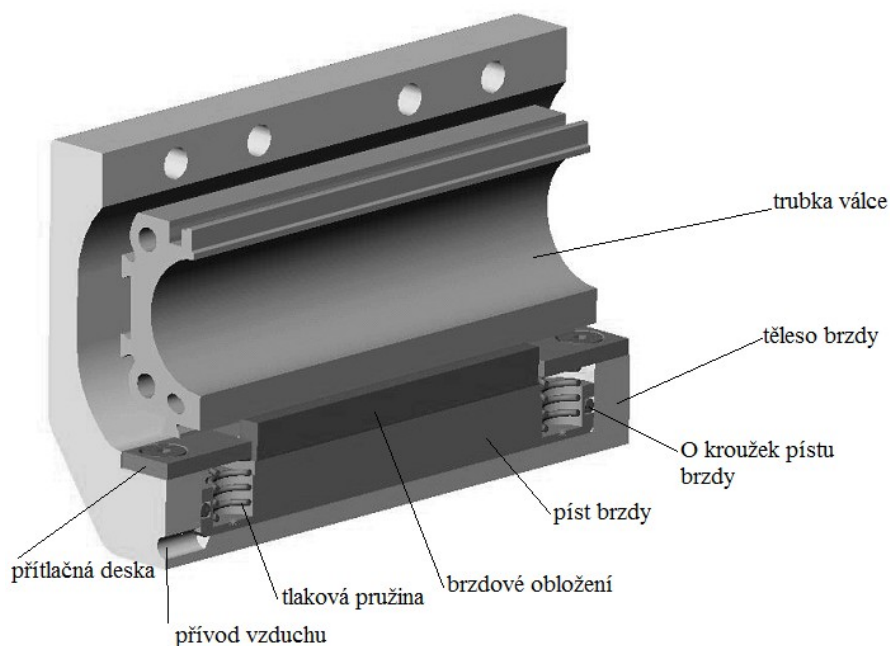
Pokud chceme realizovat složitější aplikace a mezipolohu libovolně nastavovat v průběhu používání zařízení, musíme zvolit jiný způsob pro dosažení této mezipolohy. Jedním z možných způsobů řešení je použití pneumatického válce se zajištěním polohy pístnice (válce s brzdou) na obr. 1.2-3. Tento válec má na čele blok pro zajištění polohy pístnice, která je oproti standardnímu provedení delší. Kleština bloku ovládaná pružinou nebo stlačeným vzduchem je schopna zajistit pístnici v libovolné poloze v celé délce zdvihu. Přivedeme-li na opačnou stranu pístu stlačený vzduch, kleština a tedy i pístnice se uvolní.



Obr. 1.2-3 Pneumatický válec s brzdou

Aktivní brzda:

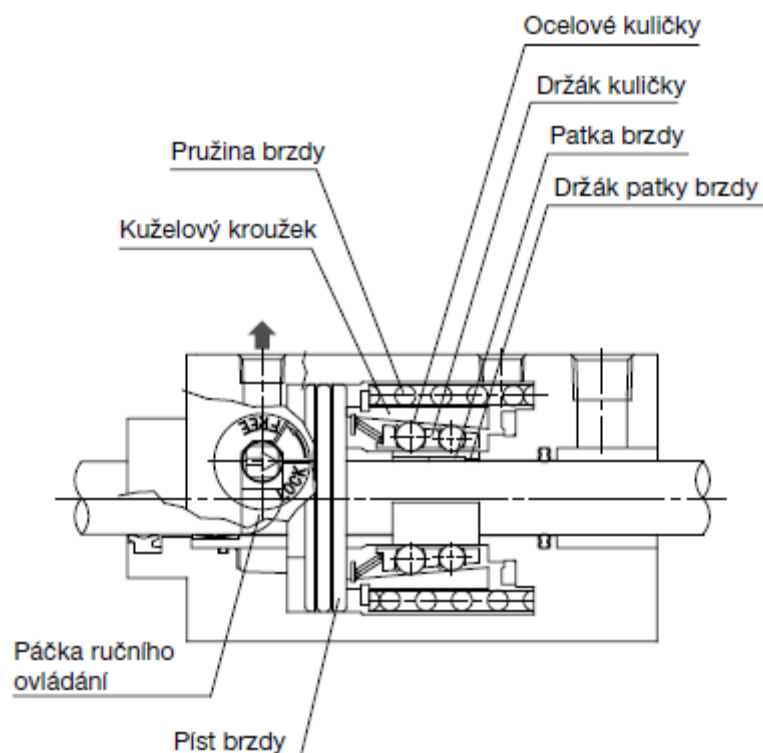
Přívod stlačeného vzduchu způsobí posunutí pístu brzdy proti tlačné pružině brzdy a tímto pohybem sevře kleštiny (nebo jiný brzdicí prvek) směrem k pístnici a vzniklým třecím odporem se pístnice zabrzdí. Na obrázku 1.2-4 je jiný příklad aktivní brzd. Tato brzda je ovládána tlakem vzduchu a po odpojení tlaku pružiny posunou píst zpět, tím se vytvoří mezera mezi válcem a brzdovým obložením – brzda je odbrzděna.



Obr. 1.2-4 Konstrukce aktivní brzd

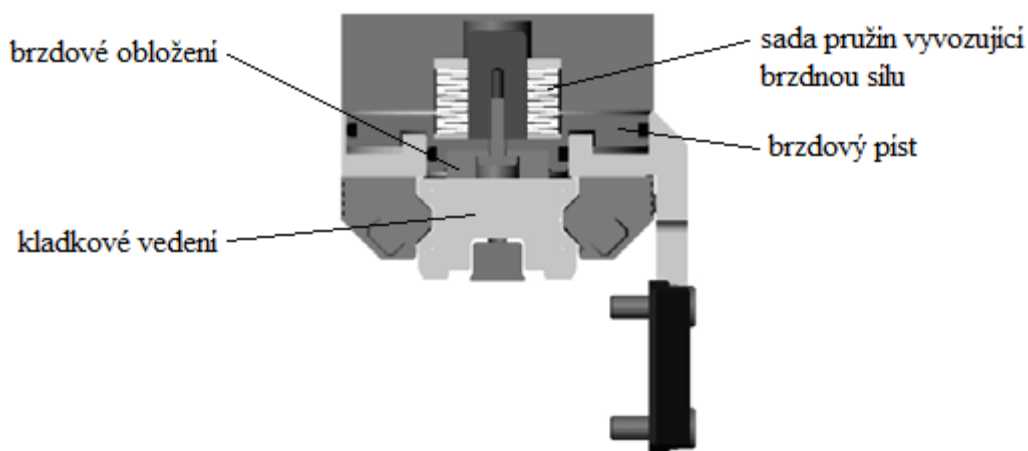
Pasivní brzda:

Tato brzda zajišťující pístnici bývá často používána, jako nouzová v případě havárie kdy dojde k výpadku stlačeného vzduchu. Hadicí je přiveden stlačený vzduch na píst, který způsobí nadzvednutí kleštin a tím deaktivaci brzdy. Pokud dojde k výpadku vzduchu, poklesne tlak na pístu brzdy a pomocí pružiny jsou kleštiny přitlačeny k pístnici, která se okamžitě zabrzdí.



Obr. 1.2-5 Čelist'ová pasivní brzda

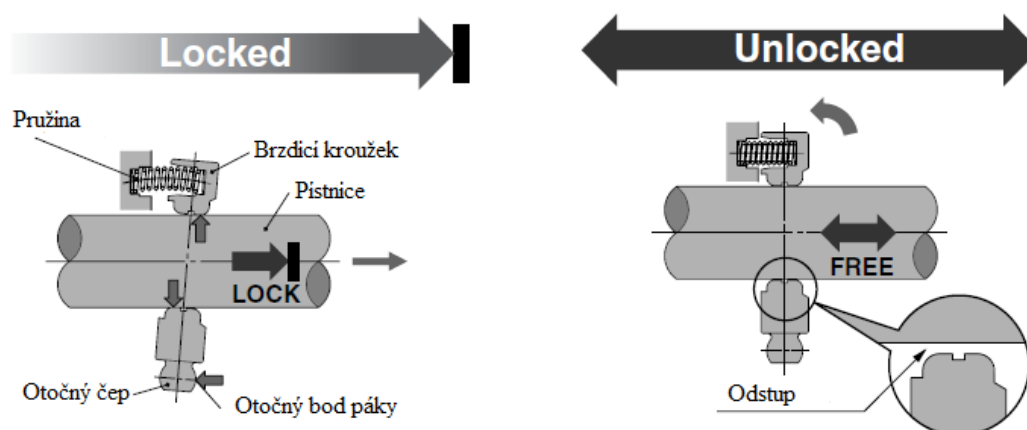
Multi-brake se zakládá na principu pasivní brzd, pokud dojde k výpadku tlakového vzduchu, pohyb válce se zabrzdí. Brzda se uvolní jednoduše přívodem tlakového vzduchu. Díky brzdovému obložení, které je odolné proti opotřebení, může být brzda aktivována také během pohybu pohonu, čímž se tento dostane do klidového stavu v nejkratším čase. Talířové pružiny, dimenzované na vysokou životnost, umožňují Multi-Brake vedle blokovací funkce také najíždění do mezipoloh.



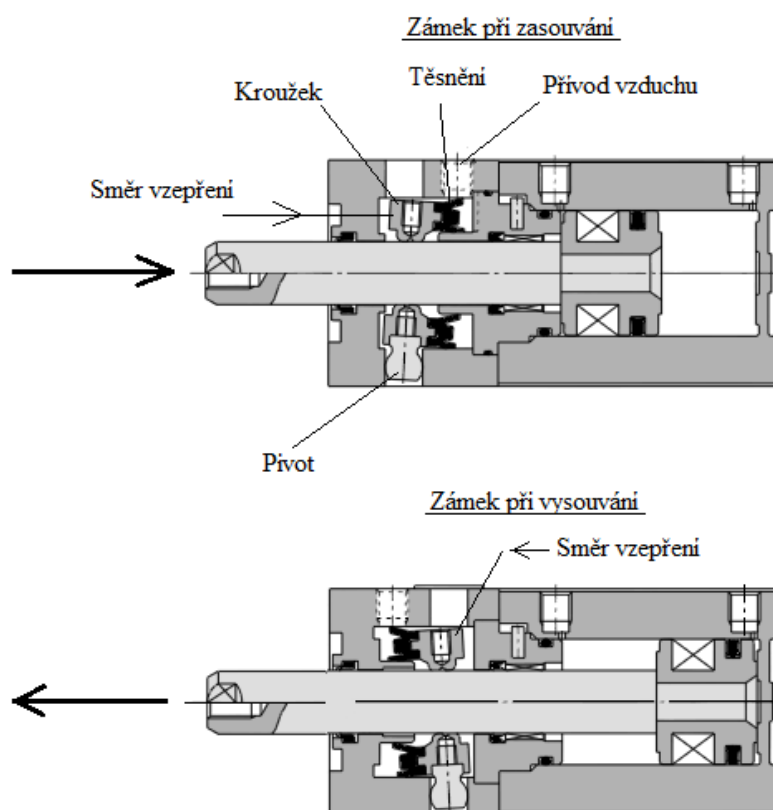
Obr. 1.2-6 Konstrukce pasivní brzd Multi-brake

Brzdění pomocí příčeni:

Brzdit pneumatický motor pomocí mechanického zablokování pístnice lze také realizovat pomocí tzv. brzdícího kroužku. K zablokování pístnice dojde vzpříčením brzdícího kroužku, který je nasazen na pístnici. Tento kroužek je z jedné strany uložen v kloubu a z druhé strany je předepjat tlačnými pružinami. Orientace pružin závisí na směru pohybu pístnice. Uvolnění brzdy je možné mechanicky, pneumaticky nebo pomocí elektromagnetu. Použití tohoto systému blokování pístnice je však možné, pouze není-li píst v pohybu. Pokud bychom tuto brzdu aktivovali v průběhu pohybu pístu, zaseknutím by se pístnice i brzdící kroužek opotřebovaly a jejich životnost by rapidně klesla. Je tak možné udržet zvedané nebo spouštěné těleso v mezipoloze avšak při odbrzdění musí být obě komory pneumomotoru natlakovány.

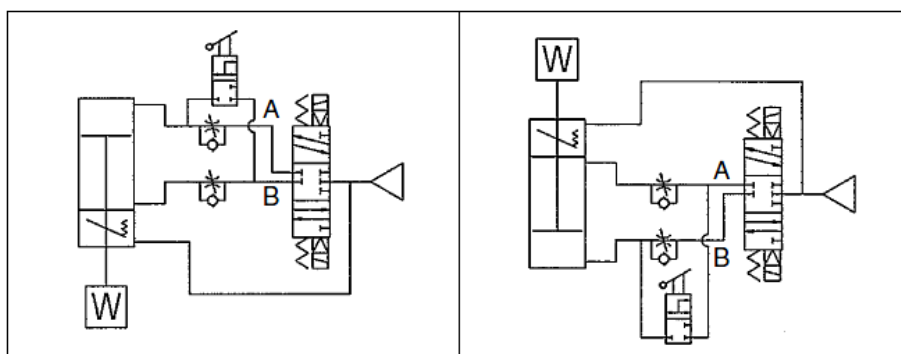


Obr. 1.2-7 Brzdění vzepřením kroužku.



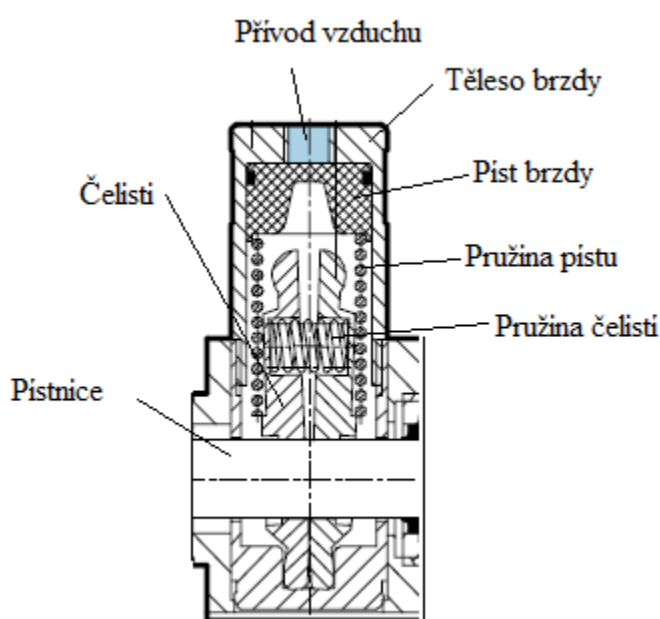
Obr. 1.2-8 Příčení kroužku brzdy.

Kroužek je přičen vždy ve stejném směru jako pohyb pístnice. V opačném případě by totiž síla vyvozená na pístnici sama kroužek vrátila zpět do stavu "odbrzděno". To znamená, že pokud válec manipuluje s břemenem ve vertikální poloze umístěným nad ním, je třeba použít zámek na zasouvání. Jen tak lze použít tento způsob jako pojistnou brzdou při náhodném výpadku stlačeného vzduchu. V opačném případě kdy je břemeno pod válcem je nutno použít zámek na vysouvání. Obě tyto možnosti jsou na obr. 1.2-9 znázorněny schématicky.



Obr. 1.2-9 Schéma zapojení brzdy.

Jiné provedení této brzdy je ukázáno na obr. 1.2-10, a jehož animace je obsažena na CD. Toto provedení od firmy Festo pracuje na stejném principu, avšak používá dvě čelisti přičící se od sebe. To dovoluje brzdit pístnici v obou směrec. Mezi čelistmi je tlačná pružina, která čelisti tlačí směrem od sebe a tím způsobuje zabrzdění pístnice. Po přivedení tlaku na píst brzdy, na kterém je kuželový otvor, se tento zasune a stlačí čelisti k sobě – brzda je odbrzděna. Po odstavení tlaku tlačná pružina pístu brzdy nadzvedne píst a čelisti se opět roztáhnou – brzda je odbrzděna. Čelisti jsou vyrobeny z mosazi, aby nedocházelo k poškození pístnice. Tato brzda je jednoduché konstrukce se snadnou demontáží a případnou výměnou čelistí.



Obr. 1.2-10 Brzda FESTO.

Pneumatický válec s pozicionérem:

Konstrukce tohoto válce je výhodná z hlediska řízení, kdy se bude muset pístnice vysouvat do různých poloh. Není nutné kupovat jednotlivé komponenty jako čidla a odměřovač zvláště proto že už jsou jeho součástí. Polohovacím zařízením je pozicionér, který umožňuje udržování polohy válce. Nastavená poloha je dosahována s vysokou opakovatelnou přesností a pracuje na principu tryska – klapka, který je podrobně popsán níže. Speciální řídicí systém s funkcí návratu do nastavené polohy redukuje změnu této polohy, v závislosti na vnějších silách působících na píst, na minimum. Vysunutí pístnice se k řídicímu signálu chová proporcionálně.



Obr. 1.2-11 Pneumatický válec s pozicionérem.

Princip funkce tohoto mechanismu je podrobně popsán v kapitole proporcionální řízení.

Válce s odměřováním polohy a brzdou:

Válce speciální konstrukce zvláště vhodné pro polohování. Polohovací jednotka s integrovaným odměřováním dráhy v kombinaci s řídicím systémem dosažení polohy je schopna zastavit v libovolné poloze s přesností $\pm 0,5$ mm. Standardní válce s pístnicí se zabudovanou brzdou a polohovací jednotkou se používají pro aplikace, které vyžadují vícepolohové činnosti.



Obr. 1.2-13 Válce s odměřováním polohy a brzdou.

1.3 Odměřování polohy:

Odměřování polohy:

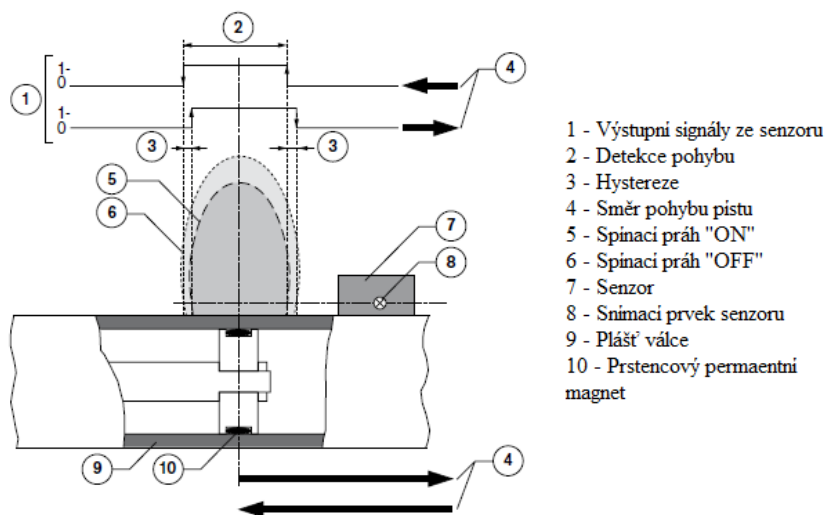
Pro zastavení pneumatického válce v libovolné poloze je nutné tuto polohu definovat, určit a změřit. Na trhu měřicí a senzorové techniky se objevuje mnoho měřicích čidel a způsobů k odměřování polohy. Rozdělují se na dvě základní provedení a to bezkontaktní nebo s přímým kontaktem senzoru a pístnice.

Bezkontaktní snímání:

Mezi bezkontaktní snímače polohy patří snímače ultrazvukové, pracující na principu vysílání a přijímání ultrazvukového signálu určité vlnové délky a následným vyhodnocením polohy. Dále jsou zde snímače optické, pracující na principu odrazu a lomu světelného paprsku. Dále jsou to snímače odporové a to jak spojitě tak nespojitě, indukční, kapacitní, transformátorové, tlumivkové a další. Protože principů snímání polohy je obrovské množství uvedu zde pouze ty, které mají význam pro prováděné měření.

Magnetické snímače polohy:

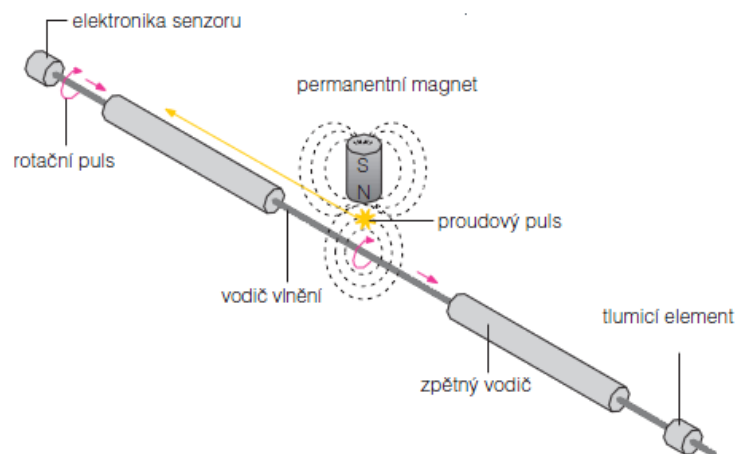
Nejpoužívanějším bezkontaktním snímačem polohy pneumatického válce je magnetický snímač. Ten pracuje na principu detekce magnetického pole, které kolem sebe vytváří magnet zabudovaný v pístu pneumatického motoru. Podmínkou pro detekci tohoto pole je, že plášť válce musí být vyroben z ne-feromagnetického materiálu (nejčastěji hliník nebo mosaz). Magneticky citlivé čidlo je namontováno externě na válec. Pokud se píst pohybuje v oblasti, ve které je umístěn senzor a hodnota magnetické indukce přesáhne prahovou hodnotu, senzor vyšle výstupní signál který je vyhodnocen jako potvrzení dosažení polohy.



Obr. 1.3-1 Princip snímání polohy magnetickým čidlem.

Lineární senzory:

Funkční princip: senzory pracují na principu magnetické indukce a skládají se z úzké trubice s vloženým elektrickým vodičem. Tento princip je založen na efektu vzájemného ovlivňování mezi magnetickými poli a permeabilitou magnetizovaného tělesa. Vlnovod je rozkmitám mechanickými torzními impulsy s vysokou frekvencí (akustické vlnění). Přitom se mění permeabilita vodiče. Na konci vodiče je vlna utlumena, takže nevznikají žádné odrazy. Magnetické pole permanentního magnetu senzoru polohy indukuje proudový impuls. Doba průběhu mechanické vlny je konstantní a tak se může přesně určit čas mezi vysláním torzního impulsu a přijetím proudového impulsu. Toto umožní velmi přesné určení polohy. Elektronický převodník pak mění měřenou hodnotu na odpovídající analogový signál. Princip těchto senzorů je přiblížen na obr. 1.3-2.



Obr. 1.3-2 Princip snímání polohy.

Terminologie závislostí, přesnosti, linearity a ostatní je popsána v kapitole proporcionální řízení. U snímače polohy jsou navíc pojmy jako nulový bod, koncový bod, mrtvá zóna a jmenovitá délka.

Nulový bod: je začátek měřené dráhy, kde se výstupní signál rovná nule, případně má nejnížší hodnotu.

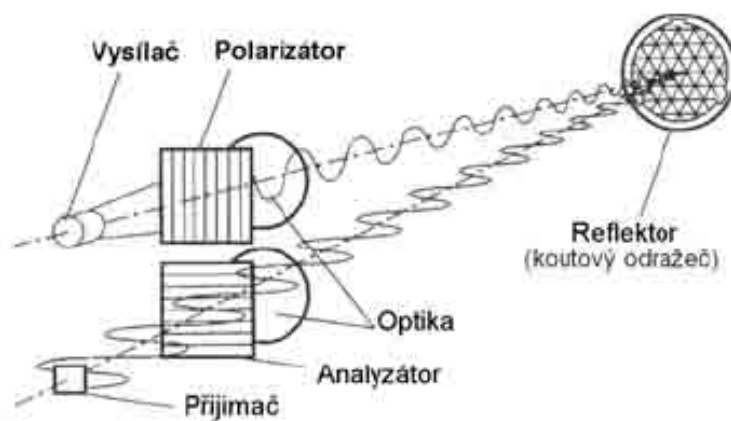
Koncový bod: Definuje konec měřené dráhy.

Mrtvá zóna: je oblast na začátku a konci senzoru, která nemůže být používána. Není zde generován žádný signál.

Jmenovitá délka: udává měřicí rozsah senzoru. Je vždy menší než délka pouzdra senzoru.

Optické snímače polohy:

Využívají principů optiky a umožňují miniaturní konstrukci snímačů s vysokou rozlišovací schopností limitovanou jevy při ohybu světla (řádově μm). Předností těchto snímačů jsou necitlivost vůči elektromagnetickému rušení a galvanické oddělení měřeného objektu a měřicího obvodu. Při přenosu informace optickými vlákny je možné použití v hořlavých a výbušných prostředích. Zdrojem záření jsou luminiscenční nebo laserové polovodičové diody, snímací prvky jsou fotodiody, fototranzistory, CCD snímače. Využívají tři konstrukční principy – vyhodnocování změny polohy zdroje, zastínění světelného toku mezi zdrojem a detektorem nebo interference zdrojového a odraženého paprsku. Tyto snímače dělíme na snímače pro spojitě měření polohy a na snímače pro nespojitě vyhodnocování (indikaci) polohy.



Obr. 1.3-4 Nespojitě měření polohy, reflexní s odrazkou.

Kontaktní snímače polohy:

Pracují na piezoelektrickém principu nebo přímou pevnou vazbou na systém tryska\klapka. Jsou pevně spojeny s pístnicí, což u mnoha aplikací představuje problém. Elektrické čidlo pevně spojené s pístnicí snímá požadovanou veličinu a vyhodnocuje ji jako výstupní signál. Tento princip pracuje se systémem tryska – klapka, který je popsán v kapitole 1.4 proporcionální řízení.

1.4 Proporcionální řízení:

Mimo řízení technologických procesů binárními – dvojkovými signály (0/1) umožňují proporcionální technická zařízení řízení analogovými signály. Tato zařízení dovolují rychlou a plynulou změnu tlaku, nebo objemu při řízení technologického procesu. Již dlouho se používají klasické regulační systémy pro regulaci tlaku a množství (objemu) vzduchu a plynů. Řadu hydraulických obvodů si již nejde představit bez proporcionálních ventilů pro řízení množství protékajícího oleje a tím i rychlosti pohybu pístnice hydraulického válce. V pneumatických obvodech se proporcionální technika začala v širším měřítku uplatňovat od počátku osmdesátých let. Proporcionálně řízená pneumatická zařízení se používají v řadě přístrojů a zařízení určených pro zdravotnictví, pro měřicí a kontrolní přístroje, pro lakování a jiné povrchové úpravy. Dále pro chemický a petrochemický průmysl, tepelné elektrárny, teplárny, potravinářství a řadu jiných oborů. Jejich použití rozdělujeme na oblasti:

-pro řízení technologických procesů

Pro spojitou regulaci - tlaku, množství, teploty, hladiny.

Pro ovládání – kulových kohoutů, klapek, ventilů.

-pro ovládání pohonů

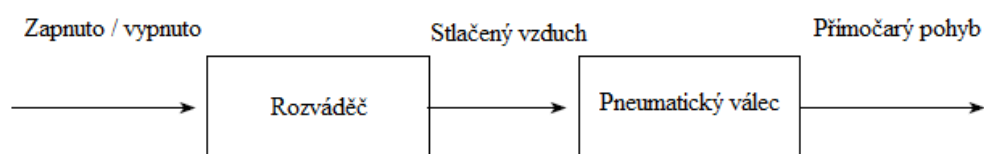
Pro spojitou regulaci – rychlosti pohybu (např. pneumatického válce)

- tlaku jako technologické funkce (např. síla pneumatického válce)

Pro pochopení chování proporcionálního pneumatického řízení v této kapitole uvedu některé základní pojmy z techniky řízení a regulace. Každý systém je buď řízen nebo regulován. Úkolem regulační techniky je přivést určenou veličinu na zadanou hodnotu a tuto hodnotu udržet i při působení rušivých vlivů.

Řízení – ovládání:

Jako příklad uvedu řízení pneumatického válce, jehož poloha se řídí pomocí rozváděče (4/2 nebo 5/2). Pneumatickým válcem je možno dosáhnout pouze dvou základních poloh, které odpovídají buď plnému vysunutí pístnice, nebo jejímu plnému zasunutí. Rozváděč v poloze 1 – pístnice je vysunuta, rozváděč v poloze 0 – pístnice je zasunuta.



Obr. 1.4-1 Schéma řízení.

Charakteristickými znaky řízení – ovládání jsou: Obvod je otevřený a neexistuje zpětná vazba, výstupní veličina není odměřována a kontrolována. Neexistuje možnost porovnání zadané a skutečné veličiny. Známe-li procesy a na ně působící rušivé vlivy, je řízení – ovládání účinné a rychlé ale neexistuje zde možnost kompenzace působení neznámých poruch a poruch způsobených kolísáním hodnot vstupních parametrů.

Regulace:

Je vlastně způsob dosažení určité hodnoty zadané veličiny a udržení této hodnoty i při působení rušivých vlivů. Obvod regulace výkonového členu tvoří vždy uzavřenou smyčku se zápornou zpětnou vazbou. Že je zpětná vazba záporná znamená, že pokud se výstupní veličina zvětší, zpětná vazba ji zmenší zpět na požadovanou hodnotu a opačně. Regulovaná veličina je během procesu průběžně měřena. Průběžně se porovnává hodnota zadané veličiny s naměřenou veličinou. Přínosem regulace je možnost vyrovnání vlivu neznámých poruch a kolísání zadaných parametrů. Při špatném návrhu však může dojít k problémům se stabilitou regulované veličiny, oproti ovládání je regulace někdy pomalejší a finančně nákladnější.

Důležité pojmy z regulační techniky:

Regulátor – (-) obsahuje zařízení pro snímání a vyhodnocování regulované veličiny, komparátor, ústřední člen regulátoru, zesilovač, regulační orgán a rozvod.

Řídící veličina – (**w**) řídícímu členu zadaná požadovaná hodnota např. proud, napětí, tlak.

Regulovaná veličina – (**x**) ovlivňovaná hodnota dynamického systému např. tlaku teploty, průtoku.

Odměřená hodnota regulované veličiny – (**x_r**) hodnota zpětné vazby.

Regulovaná soustava – (-) dynamický systém jehož hodnoty mají být regulovány např. válec, kyvný pohon, klapka.

Sčítací člen – (-) porovnává zadanou a skutečnou hodnotu.

Odchylka regulované veličiny – (**x_d**) výstup sčítacího členu $x_d = w - x_r$

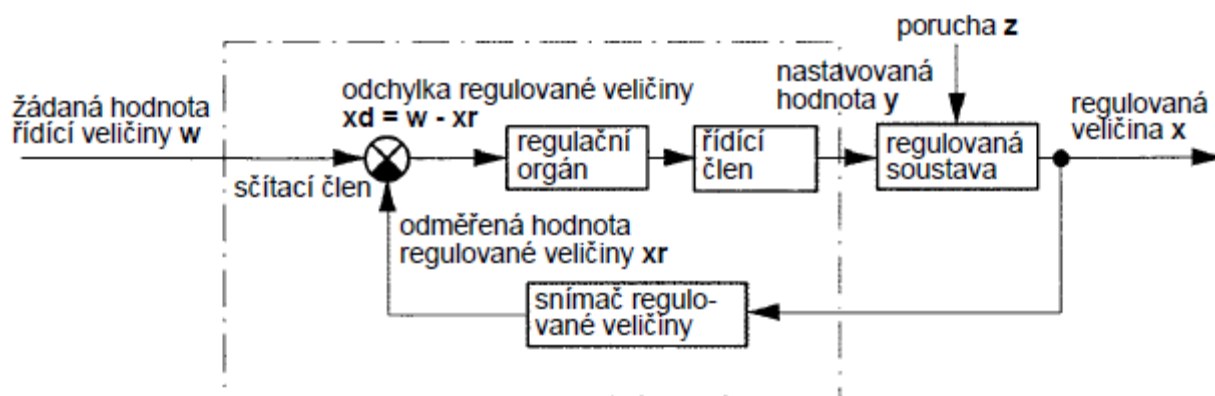
Ústřední člen regulátoru – (-) určuje vstupní hodnotu pro regulátor.

Zesilovač – (-) generuje výstupní signál *y*.

Nastavovaná akční veličina – (**y**) vstupní signál do regulované soustavy.

Porucha – (**z**) veličina, jejíž změna (např. teploty, tlaku, napětí) v průběhu procesu působí na regulovanou soustavu.

Snímač a měřicí člen – (-) snímá a vyhodnocuje regulovanou veličinu.

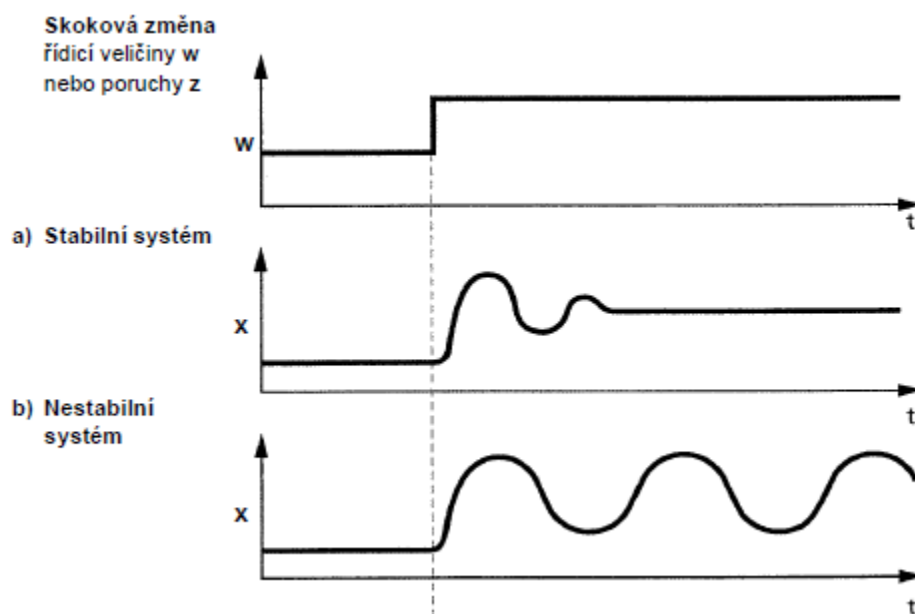


Obr. 1.4-2 Regulační obvod.

Požadavky na průběh regulačního pochodu:

Stabilita:

Stabilita je nejdůležitější vlastností regulačního obvodu. Systém je stabilní, pokud se regulovaná veličina x po přivedení skokové změny řídicí veličiny w na vstupu systému ustálí. Systém je nestabilní, pokud se regulovaná veličina x rozkmitá s konstantní nebo rostoucí amplitudou.



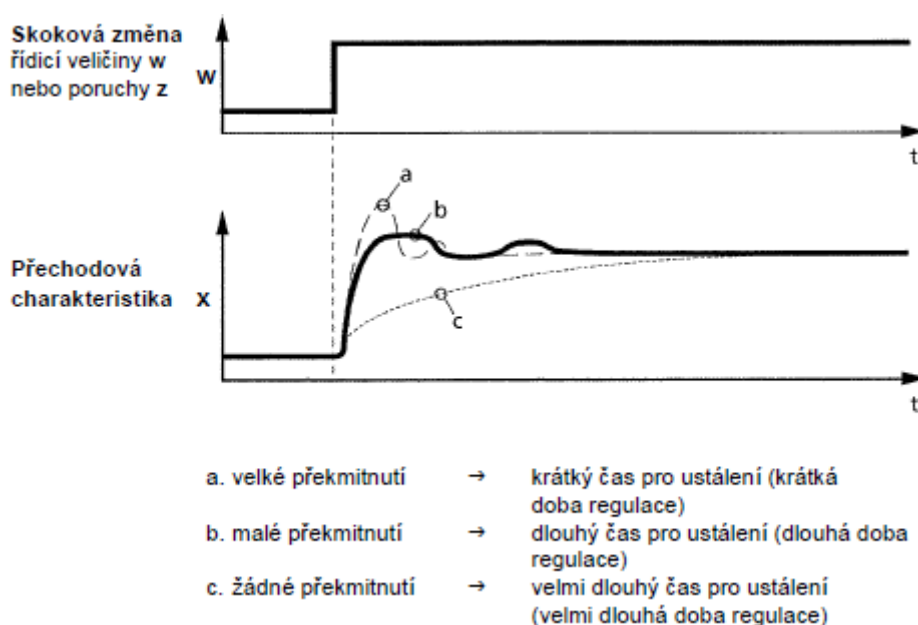
Obr. 1.4-3 stabilita regulačního pochodu.

Statická přesnost:

Je-li hodnota změny řídicí veličiny nebo poruchy konstantní, nesmí dojít v závislosti na čase ke změně regulované veličiny.

Dostatečné tlumení:

Tlumení ovlivňuje přesnost a dynamiku regulačního pochodu. Velké tlumení brání při skokové změně překročení hodnoty řídicí veličiny, ale prodlužuje čas potřebný pro ustálení. Malé tlumení zkracuje čas potřebný pro ustálení, ale je možná velká odchylka od zadané hodnoty. U nestabilního regulačního pochodu se tyto odchylky neustálí a regulace není možná.



Obr. 1.4-4 přechodová charakteristika při různém tlumení.

Linearita: Vyjadřuje proporcionální poměr mezi hodnotou řízené veličiny w a hodnotou regulované veličiny x . maximální odchylka od konečné hodnoty se vyjadřuje v procentech.

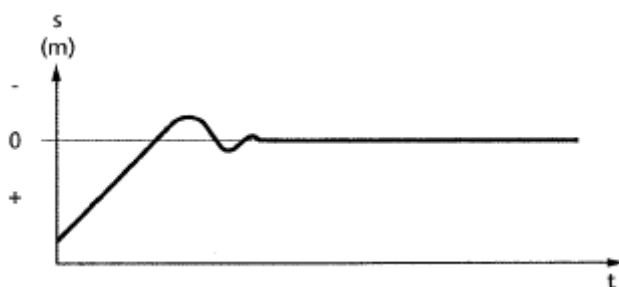
Hystereze: Vyjadřuje v procentech rozdíl mezi hodnotou řízené veličiny w a hodnotou regulované veličiny x při nastavení regulátoru od nulového bodu na maximum a z maxima na nulový bod.

Opakovatelná přesnost: vyjadřuje v procentech, s jakou odchylkou od koncového bodu je možno opakovatelně nastavit hodnotu regulované veličiny x , odpovídající koncovému bodu.

Citlivost: udává, při jaké změně hodnoty řízené veličiny w , nebo změně hodnoty regulované veličiny x reaguje mechanismus proporcionálního ventilu, nebo regulátoru.

Nastavení nulového bodu: umožňuje jeho posunutí do pole kladného i záporného rozsahu. Křivka vyjadřující charakteristiku přístroje, se posouvá rovnoběžně se základní křivkou.

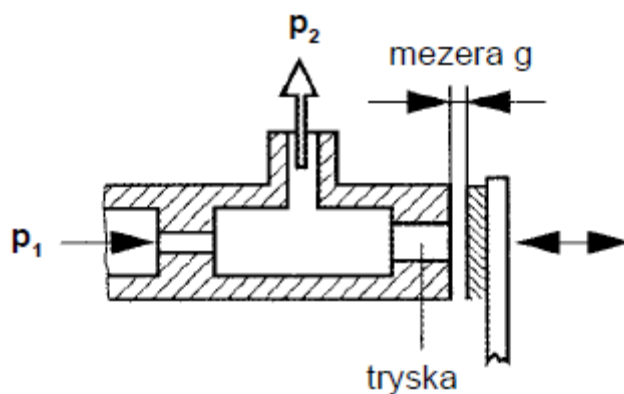
Nastavení rozsahu regulace: dovoluje změnit strmost základní charakteristické křivky. Konečná hodnota regulované veličiny x může být snížena, nebo zvýšena a tak přizpůsobena požadavkům technologického procesu.



Obr. 1.4-5 Překmit a stabilizace regulované hodnoty v čase.

Regulátor polohy:

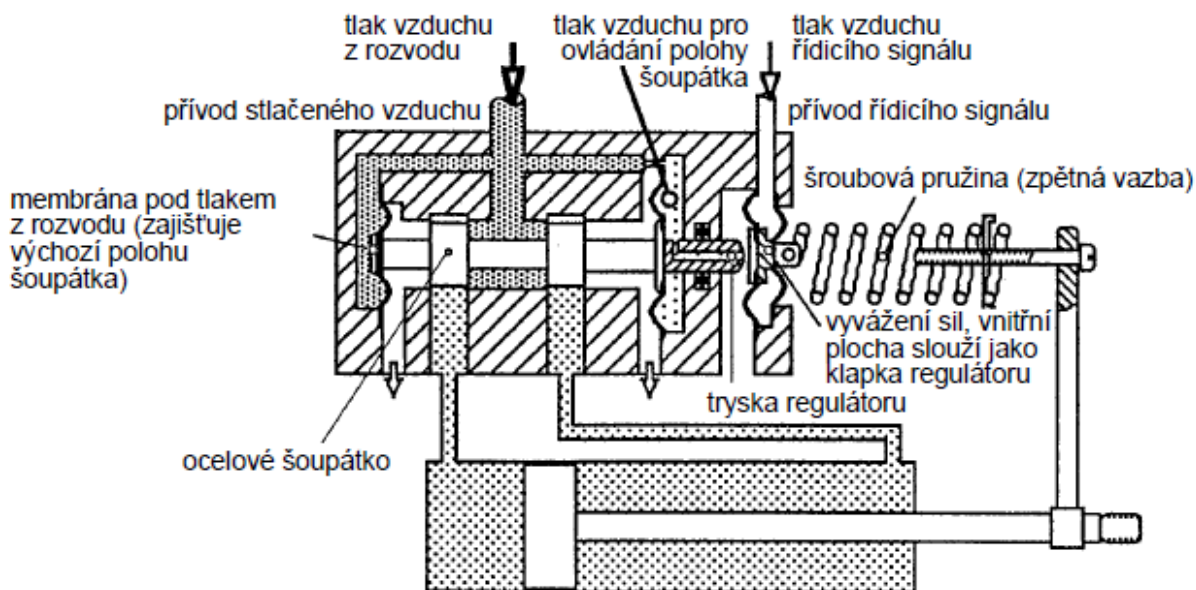
Je mechanismus umožňující zastavení pneumatického válce (elektromotoru, kyvných motorů apod.) ve zvolené poloze. Ústředním členem regulátoru je prvek, který tvoří tryska a klapka. Umožňuje řízení pomocí analogového signálu a tím dovoluje rychlou a plynulou změnu tlaku při řízení technologického procesu. Jak je zřejmé z obrázku 5, tlak vzduchu p_2 se mění proporcionálně s velikostí mezery g mezi tryskou a klapkou. Změna hodnoty řídicí veličiny, v tomto případě tlaku, změni polohu klapky vůči trysce a tím velikost mezery g mezi tryskou a klapkou. Zvětšení mezery se projeví snížením tlaku p_2 . Pokud není mezi tryskou a klapkou mezera, je vstupní tlak roven výstupnímu ($p_1=p_2$). Při konstrukci regulátoru polohy je důležité určit optimální rozměr mezery.



Obr. 1.4-5 Princip systému trysky a klapky.

Princip funkce:

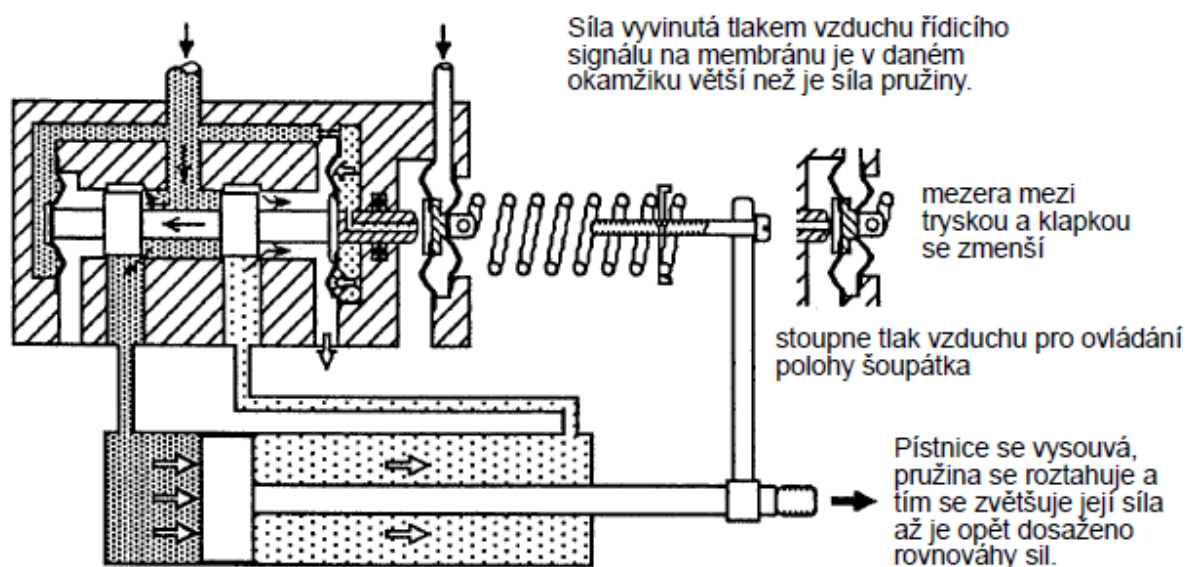
Podélný řez na obr. představuje zjednodušený regulátor polohy. Ocelové šoupátko odpovídá provedení s nulovým krytím (jeho kanály s výstupy k válci jsou uzavřeny pouze hranou šoupátka). Na membránu vlevo působí trvale tlak vzduchu přiváděný z rozvodu do regulátoru polohy, na membránu vpravo působí trvale tlak vzduchu generovaný řídicím signálem. Pístnice válce se nepohybuje, když je šoupátko ve střední poloze (kanály s výstupy k válci jsou uzavřeny) a na obě membrány působí stejný tlak vzduchu.



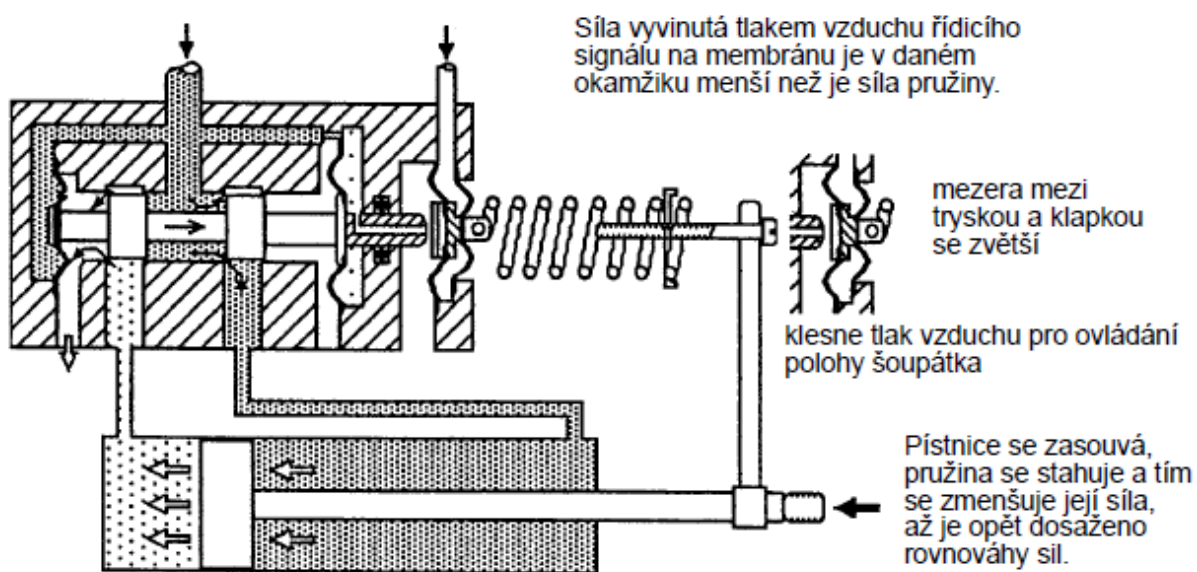
Obr. 1.4-6 Princip tryska/klapka.

Regulátorem, pracujícím na principu tryska/klapka, se generuje tlak vzduchu pro ovládání polohy šoupátka. Klapku tvoří plocha kotouče, upnutého mezi dvě tvarované membrány a spojeného s pružinou s funkcí zpětné vazby. Vnitřní plocha kotouče spolu se šroubovou pružinou jsou prvky mechanismu k vyvážení síly tlaku vzduchu pro ovládání polohy šoupátka se silou šroubové pružiny.

Zvýšením tlaku vzduchu řídicího signálu se přiblíží klapka k ústí trysky. Tím stoupne tlak vzduchu pro ovládání polohy šoupátka, který působí na membránu vpravo a šoupátko se posune doleva. Posunutím šoupátka se otevřou kanály ventilu k pneumatickému válci a pístnice se začne vysouvat až do doby, kdy síla pružiny oddálí klapku od ústí trysky obr. 1.4-7. Tlak pro ovládání polohy šoupátka klesne na hodnotu, která odpovídá rovnováze sil, vyvozených tlakem vzduchu řídicího signálu a silou pružiny. Šoupátko se posune vpravo do výchozí polohy a pohyb pístnice se zastaví do doby, než se změnou řídicího signálu nebo poruchou (změnou polohy pístnice) poruší rovnováha sil, působících na klapku regulátoru polohy.



Obr. 1.4-7 Vysouvání.



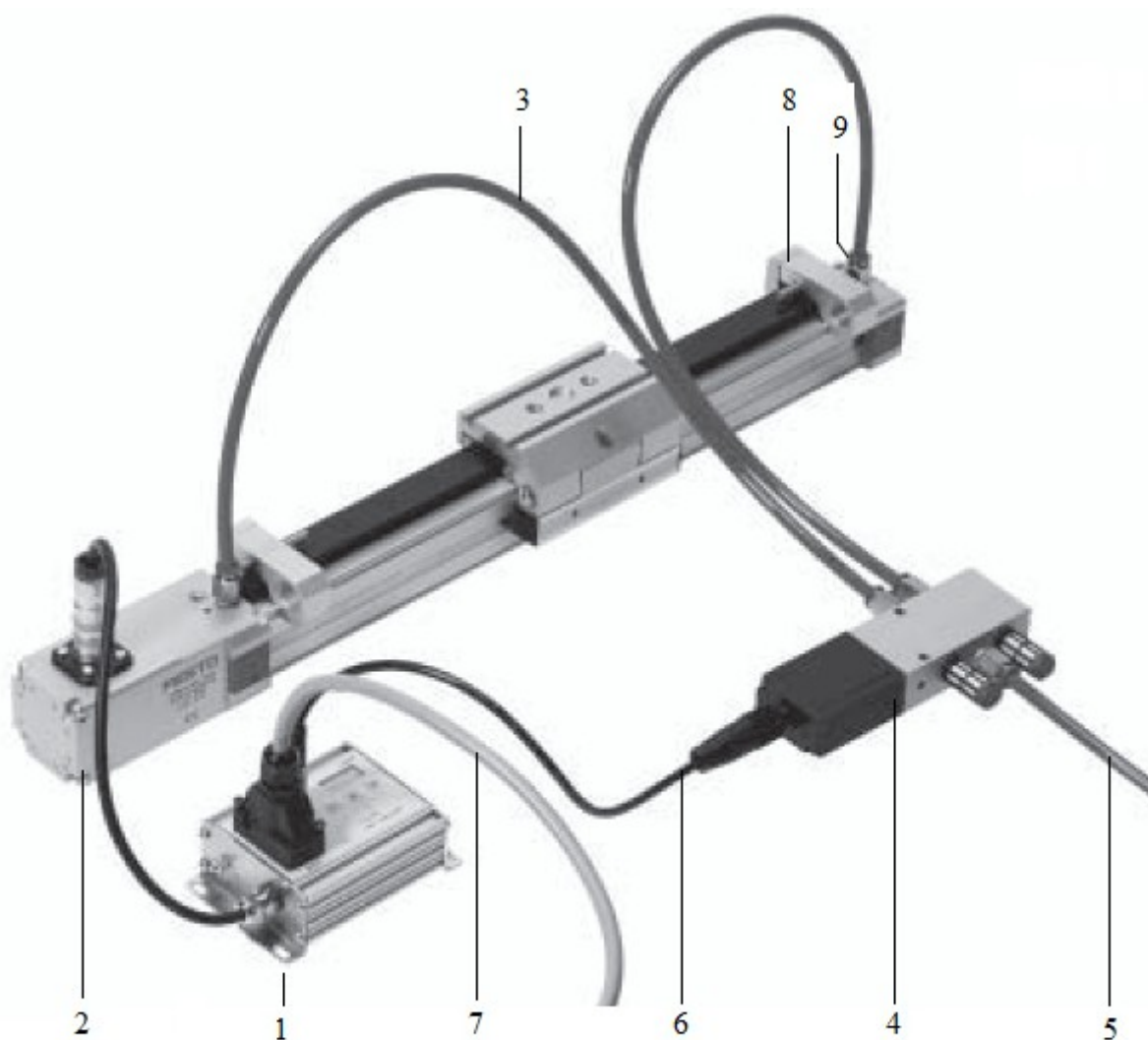
Obr. 1.4-8 Zasouvání.

Systém Soft Stop s jednotkou SPC 11:

Systém představený firmou Festo je programovatelný automat s regulátorem koncových poloh SPC-11 pro dosahování tzv. Soft Stop (hladké zastavení). Systém umožňuje i zastavování ve dvou polohách během pracovního cyklu. Lze jej použít jak na bezpístnicové válce, tak i na standardní, kyvné válce a válce s mezipolohou. Hlavním přínosem tohoto systému je 30% zkrácení doby přejezdu pneumatických pohonů a zásadní snížení vibrací, což zvyšuje produktivitu a zvyšuje životnost celého instalovaného vybavení. Toto zvýšení rychlosti bylo dosaženo optimalizací zpomalovacích parametrů. Systém Smart Soft Stop působí řízeným protitlakem těsně před koncem zdvihu. Pracuje se snímačem polohy a neustále porovnává požadovanou a skutečnou polohu a pomocí proporcionálního směrového rozváděče optimalizuje pohyb válce. Konkrétním příkladem může být použití na běžném bezpístnicovém lineárním pohonu DGPL. Tento pohon s tlumičem nárazu dosahuje za 20s třinácti dvojitých zdvihů. Bez tlumičů nárazu nebo čidel, s připojením k elektronickému regulátoru koncových poloh, lineárnímu potenciometru a proporcionálnímu rozváděči 5/3 tentýž pohon za stejnou dobu vykoná 21 dvojitých zdvihů. Popisovaný systém je možné integrovat do řídicích sekvencí pomocí dvou digitálních vstupů a dvou digitálních výstupů. V některých případech lze tímto zařízením přímo rozšířit existující instalace. Pohyb je optimální i při změnách hmotnosti či zátěže až do 30% celkové pohybující se zátěže. Zařízení lze uvést do provozu rychle bez práce specialisty a cena systému je v porovnání s elektromechanickými pohony nižší.



Obr. 1.4-9 Regulátor koncových poloh.



- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 - Soft Stop | 6 - kabel pro proporcionální rozváděč 5/3 |
| 2 - analogový odměřovací systém | 7 - kabel k řídicímu systému |
| 3 - přívody stlačeného vzduchu | 8 - pevný doraz |
| 4 - proporcionální rozváděč 5/3 | 9 - šroubení |
| 5 - přívod stlačeného vzduchu | |

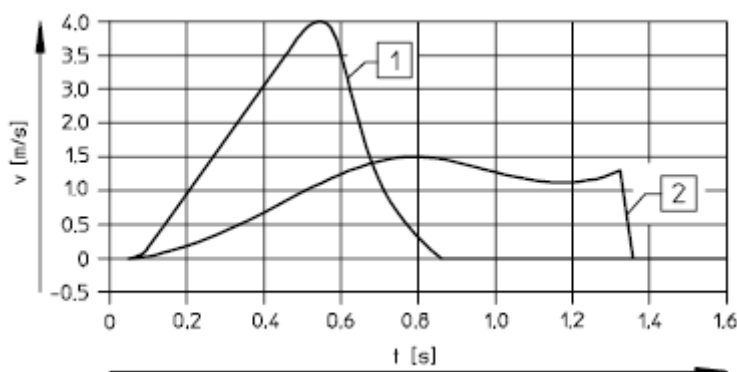
Obr. 1.4-10 Zapojení na bezpístnicovém pneumatickém pohonu.

Výhodou tohoto systému je řešení s malým počtem vzájemně vhodných dílů. Systém Soft Stop s regulátorem koncových poloh SPC 11 umožňuje kromě pohybů mezi dvěma mechanickými pevnými dorazy také najíždění až do dvou mezipoloh. Přesnost mezipoloh je $\pm 0,25\%$ z celkové délky zdvihu, minimálně však $\pm 2\text{mm}$. Typické příklady použití mezipoloh jsou vyčkávací mezipolohy nebo vyfukovací mezipolohy, u nichž není nutná velká přesnost a které jsou cenově výhodné. Lze je také využít jako čidla. Při přejetí mezipolohy je na odpovídající výstup odeslán signál po dobu 50 ms podobně jako z čidla.

SPC-11 pracuje buď s analogovým, nebo digitálním signálem. SPC-11 s rozhraním AS-Interface má stejnou funkci pohonu jako SPC-11 s rozhraním s digitálními vstupy/výstupy. Rozhraní AS-Interface lze používat ve dvou provozních režimech. Standardní režim vstupů a výstupů, 4 bity. Příkaz k najíždění do čtyř poloh vydává zařízení ASI Master přes čtyři datové bity. SPC-11-ASI se spouští tlačítky na regulátoru koncových poloh, po připojení kabelu ASI se tato tlačítka zablokují a do poloh lze najíždět přes AS-Interface. Nebo jako slave AS-Interface2.1: veškeré činnosti spouštění probíhají přes rozhraní AS-Interface, čísla chyb se načítají a chyby se potvrzují, pak se předávají absolutní hodnoty pro mezipolohy. Ruční pojíždění osy Soft Stop je možné pomocí tlačítek na ovládacím panelu.

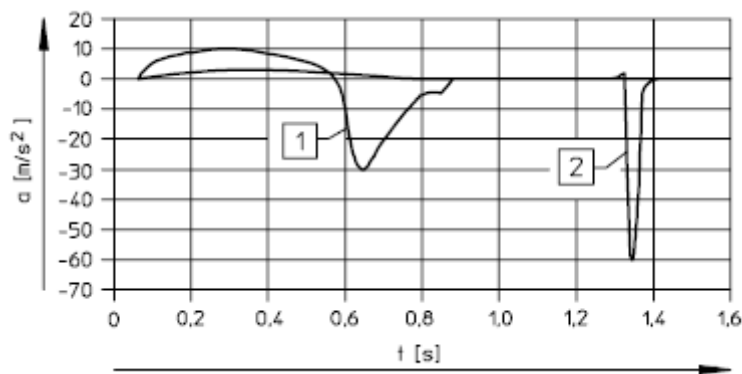
Charakteristiky pohonu s SPC 11:

Jako příklad je v katalogu uveden příklad pohonu DGPL-25-1250 s pohybující se hmotností 12kg, ve vodorovné montážní poloze. Na obr. 1.4-11 a 12 jsou grafy rychlosti a zrychlení v čase porovnány s pohonem s tlumičem nárazu. Číslem 1 je označen pohon s SPC 11 a pod číslem 2 pohon s tlumičem nárazu. Z grafů je patrné, že rychlost s SPC 11 má strmější průběh a dosahuje větší rychlosti než pohon s tlumičem nárazu. Výsledkem toho je dosažení zdvihu v mnohem kratší době oproti pohonu s tlumením.



Obr. 1.4-11 Závislost změny rychlosti v čase.

Při pohledu na graf závislosti zrychlení na čase je vidět, že pohon s tlumením má po většinu doby nulové zrychlení, až ke konci zdvihu náhle naroste zrychlení do relativně velkých záporných hodnot. Oproti tomu pohon s SPC 11 má plynulou změnu zrychlení a to takovou, že ze začátku má kladné zrychlení (zrychluje) a pak plynule přejde do záporných hodnot a (zpomaluje). Tímto plynulým pohybem nedochází k cukání a pohyb je mnohem plynulejší.



Obr. 1.4-12 Závislost změny zrychlení na čase.

Integrované funkce SPC-11:

- zjištění systémových parametrů připojených prvků
- uložení požadovaných koncových poloh nebo mezipoloh do paměti
- porovnávání požadované a skutečné polohy a regulace polohy řízením průtokového proporcionálního rozváděče 5/3
- vnitřní nebo vnější funkce Teach (učení)

Analogové odměřovací systémy:

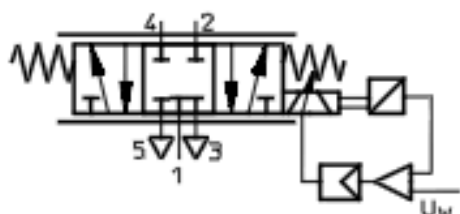
Analogový vysílač polohy – lineární potenciometr z vodivého plastu. Systém měří absolutní hodnoty. Připojuje se podélně k pneumatickému pohonu. Pro toto mechanické spojení je dodávána upevňovací sada. Odměřovací systém se dodává v pevných odstupňovaných délkách od 100 ... 2000 mm.

Digitální odměřovací systémy:

Digitální odměřovací systémy, polovodičové, bezdotykové měření. Systém měří absolutní hodnoty. Připojuje se podélně k pneumatickému pohonu. Pro toto mechanické spojení je dodávána upevňovací sada. Odměřovací systém se dodává v pevných odstupňovaných délkách od 100 ... 2000 mm.

Proporcionální rozváděče 5/3:

Rozváděč je řízen regulátorem koncových poloh. Ventil zaručuje přívod správného množství vzduchu do pohonu. Díky extrémně krátké době přestavení je komplet Soft Stop velmi dynamický.



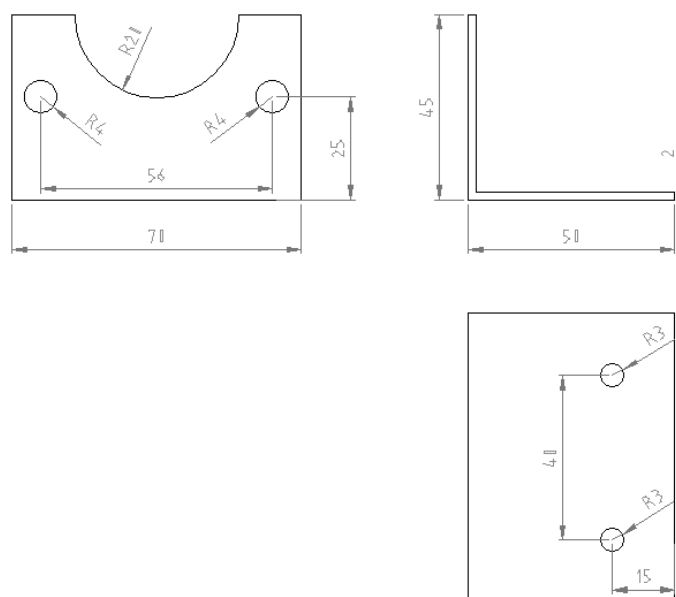
Obr. 1.4-13 Proporcionální rozváděč.

2. Metodika měření:

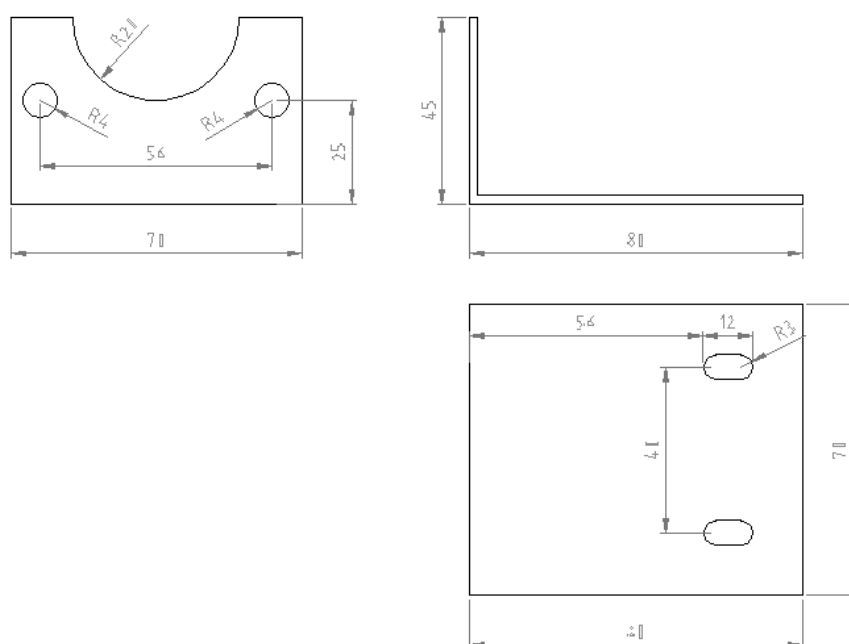
Měření jsem prováděl v laboratoři pneumatických mechanismů na VŠB za pomoci vedoucího diplomové práce Ing. Miloslava Žáčka.

2.1 Popis a zapojení mechanismu:

Úkolem bylo proměřit pneumatický válec s brzdou C92LADB50-500. Tento válec jsem musel upevnit do konstrukce, která byla použita pro upevnění jiného válce, a proto bylo zapotřebí vyrobit přípravky pro uchycení. Jako první jsem si změřil pneumatický válec a konstrukci a navrhl upevnění podle rozměrů. Tyto přípravky jsem poté vyrobil z nerezového plechu tloušťky 2 mm. Na obr. 2.1-1 je upevnění na víku ze strany pístnice a na obr. 2.1-2 upevnění na zadním víku. Pro upevnění jsem použil šrouby M8 na válci a M6 na konstrukci.

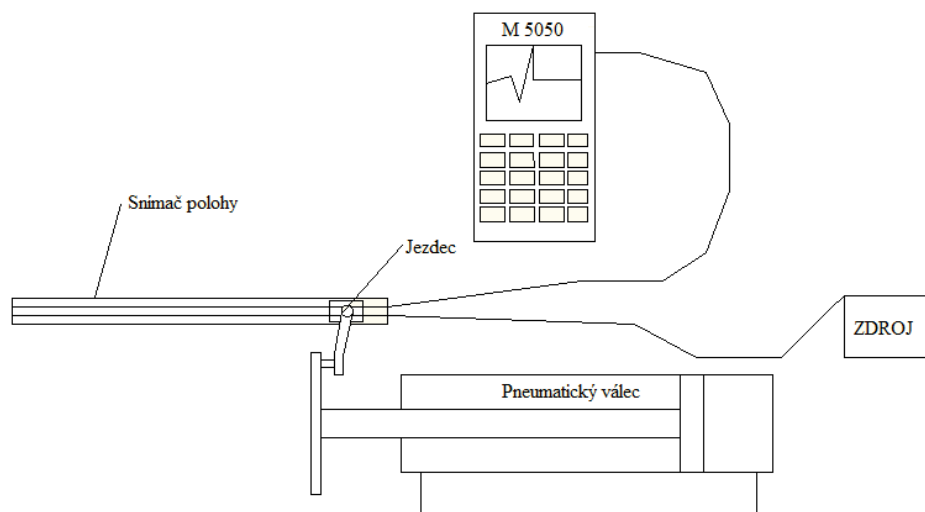


Obr. 2.1-1 Upevnění předního víka.

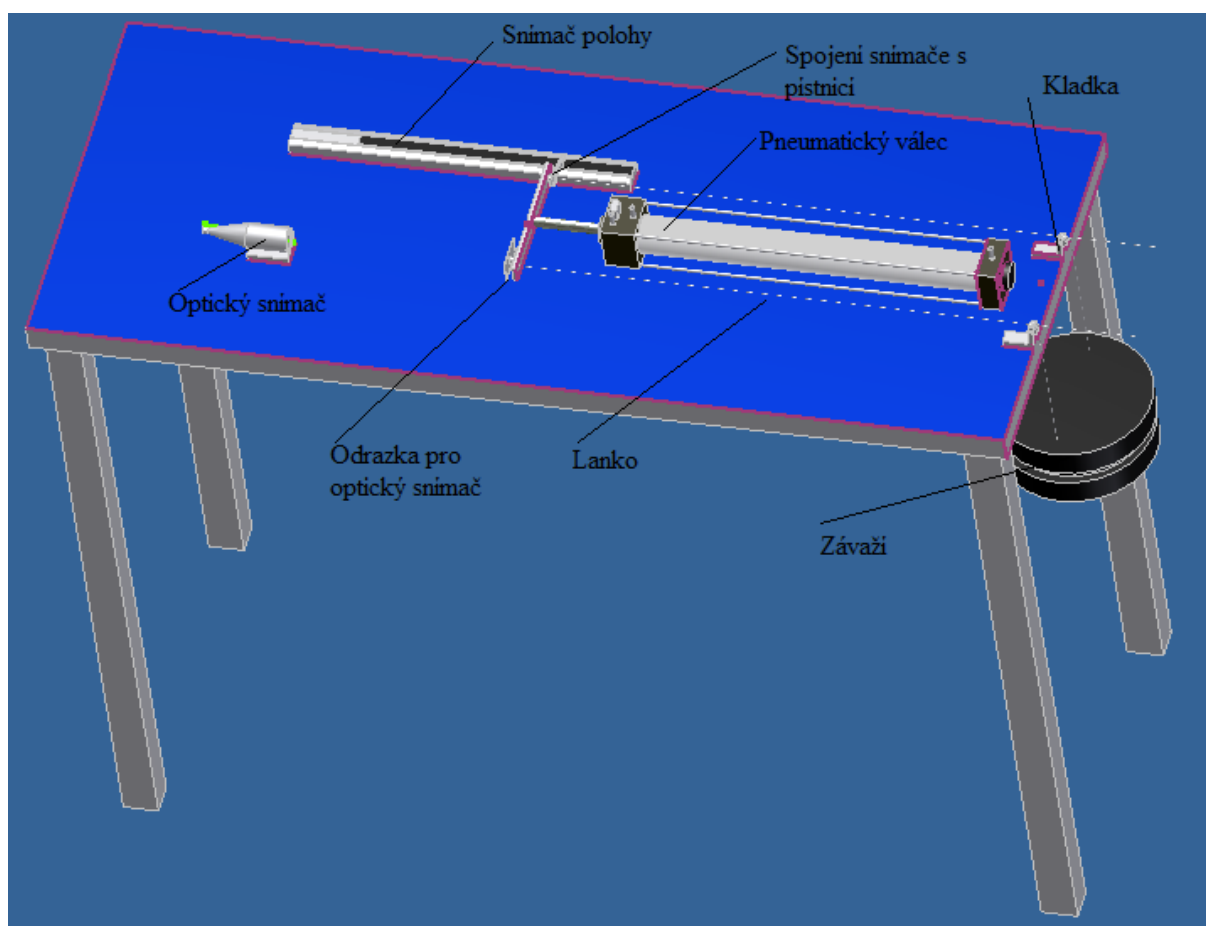


Obr. 2.1-2 Upevnění zadního víka.

Po upevnění válce do konstrukce jsem na konec pístnice přidělal propojení na lineární senzor a na toto propojení jsem pomocí háčků zavěsil přes lanko a kladky závaží. Toto závaží tvoří zátěž, která se na válci projeví tak, jako by byl válec ve vertikální poloze zatížen břemenem, které je nad ním. Toto je základní upevnění pro měření. Následně jsem k tomuto zapojení přidával různé prvky a tvořil obvody pro zastavování pneumatického válce v mezipoloze.



Obr. 2.1-3 Zapojení snímače polohy.



Obr. 2.1-4 Popis zapojení válce a snímače.

2.2 Postup měření:

Po sestavení obvodu, který je popsán v předchozí kapitole, následovalo uvedení obvodu do chodu. Byly připojeny ovládací a řídicí prvky. Jako první jsem musel zapojit snímač polohy ke zdroji napětí a poté pomocí kabelu k měřicímu přístroji M 5050 na kterém jsem navolil snímání polohy. Nastavit nulový bod, koncový bod a pracovní rozsah na snímači polohy TURCK, tento postup bude podrobně popsán v kapitole 3.7 specifikace prvků. Dále jsem zkontroloval, zda magnetický snímač reaguje na pozici pístu rozsvícením zelené LED. Následně jsem podobným způsobem zkontroloval, zda polohu indikuje i optický snímač polohy. Oba byly v pořádku. Dalším krokem bylo zapojení jednotlivých obvodů a připojení ke zdroji tlaku. Po odzkoušení zda celý obvod funguje a případném doladění jsem obvod nechal několikrát vykonat pracovní cyklus, aby se dostal do provozního stavu (válec nebyl delší dobu používán a tak měl při prvních cyklech tendenci k drhnutí). Poté jsem začal s měřením. Po zmáčknutí tlačítka se začala pístnice vysouvat a zároveň se začala snímat její poloha. Po indikaci zvolené polohy čidlem se pístnice zastavila. Hodnotu naměřenou na M 5050 jsem poté zapsal do tabulkového editoru EXCEL. Pro každý řešený obvod jsem provedl 15 měření a z těchto hodnot jsem následně počítal odchylky a chyby měření. Výpočet je uveden v kapitole 2.4 Výpočet chyby měření.

2.3 Měřicí přístroj M5050:

Je jednoduchý měřicí systém, který umožňuje jednoduché a pohodlné měření. Multi-System 5050 vyrobený firmou HYDROTECHNIK GmbH Německo, je účinný přenosný měřicí přístroj pro měření různorodých fyzikálních veličin. Můžeme si vybrat ze dvou digitálních a 4 analogových vstupů. Analogové vstupy mohou být proudové (0-20mA a 4-20mA), nebo napěťové 0-10 V.

Dnešní moderní přístroje musí umět nejen hodnoty získat, ale také s nimi nakládat a zpracovávat. Proto Multi-System 5050 disponuje dvěma nezávislými paměťmi. Jedna z nich ukládá min./max. hodnoty, permanentně ukládá hodnoty z 6-ti měřících kanálů. Druhá paměť s kapacitou 250 kB dovoluje uložení maximálně 20 datových souborů. Pro uložení naměřených dat se dá různě upravit časové rozlišení a přizpůsobit jej k měřícím úkolům.

Zvláštní volba umožňuje uživateli zobrazit na display množství zobrazení ze dvou měřících kanálů a jejich odečtení nebo sečtení.

Uložené data jsou automaticky ukládány s datem a časem a můžou být vytištěny v tabulkové či grafické podobě kterýkoliv čas. To je možné pro jeden nebo pro kompletní datový soubor, či jeho část.

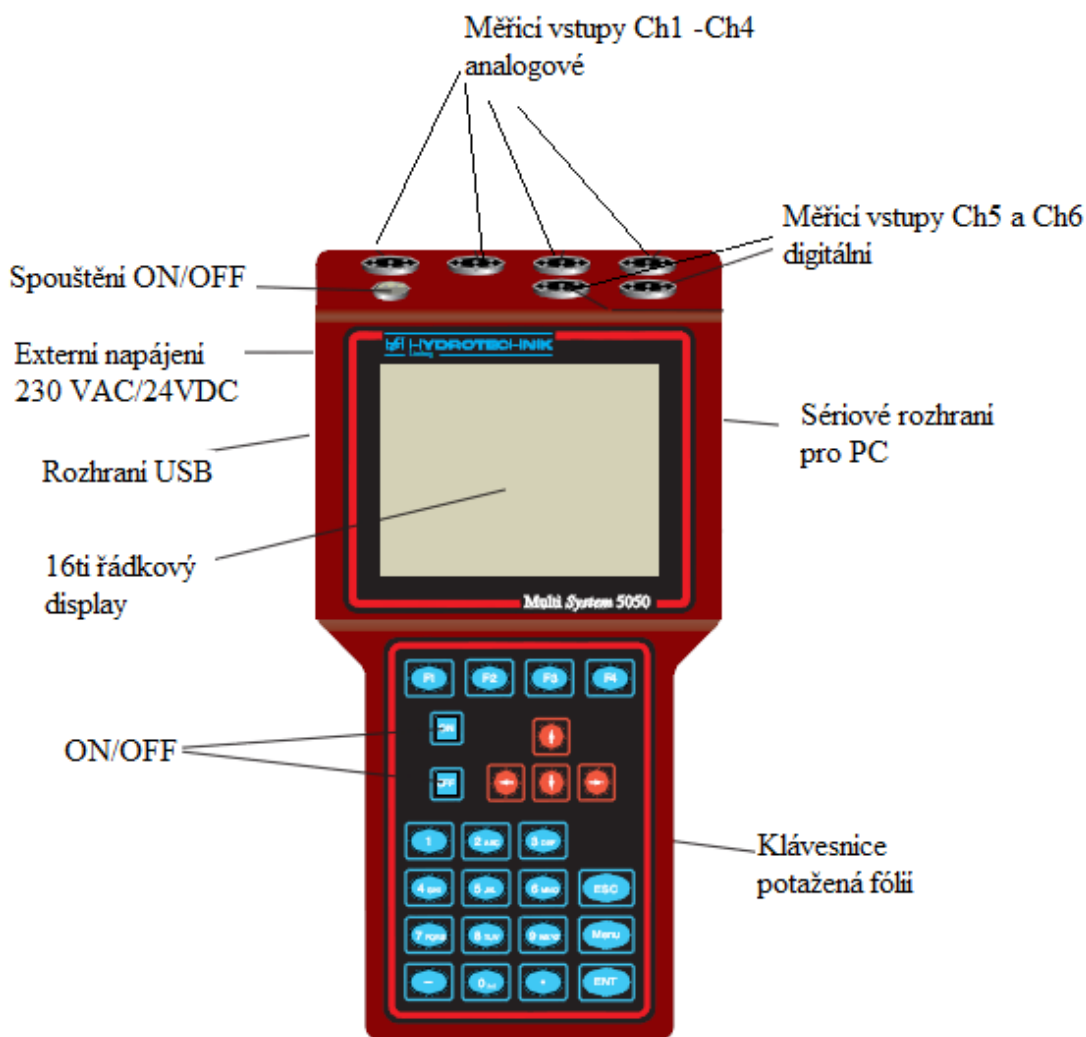
K přístroji se dodává i softwarové vybavení pro zpracovávání dat v počítači. Jedná se o „HYDROcomsys/Win32“ vyvinutý firmou HYDROTEHNIK pro zpracování velkého množství dat pro statistická vyhodnocení.

Měřené proměnné:

tlak, tlakové špičky, objemová rychlost, stejnosměrný proud, stejnosměrné napětí, síla, krouticí moment, posunutí, lze volit zobrazení 5 číslic s pohybem desetinné čárky

Technická data:

4 analogové vstupy	6 pinů, signálů Ch1 – Ch4	0–20 mA, 4–20 mA, nebo 0-10V
2 digitální vstupy	6 pinů, signálů Ch5-Ch6	0,25 – 5000 Hz
Vnější pracovní teplota	0 °C - + 50 °C	
Vnější pracovní vlhkost	< 80 %	



Obr. 2.3-1 HYDROTECHNIK M5050

2.4 Výpočet chyby měření:

V současné době se v metrologii a při technických měřeních přechází k novým metodám vyjadřování odchylek. Dosavadní *chyby měření* jsou v souladu s mezinárodními předpisy nahrazovány *nejistotami měření*. Pokud chápeme chybu měření jako odchylku konkrétně naměřené hodnoty od správné hodnoty měřené veličiny, je zřejmé, že ji nelze stanovit, protože principiálně nelze stanovit správnou hodnotu. Proto se místo pojmu chyby měření zavádí pojem nejistoty měření jako veličiny, která charakterizuje určité toleranční pásmo kolem odhadnuté nejpravděpodobnější správné hodnoty měřené veličiny.

Pojem nejistoty měření se zavádí na základě doporučení „Mezinárodního výboru pro míry a váhy“. Praktické pokyny pro určování nejistot měření obsahuje *Směrnice* „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ vydaná mezinárodními metrologickými orgány v

roce 1993. U nás se pojmu nejistoty měření dosud běžně používá v metrologii a zavádí se do technické praxe. Vyjádření nejistoty výsledku měření umožňuje porovnat výsledky dosažené různými laboratořemi, popř. porovnat výsledky s referenčními hodnotami.

Typy nejistot:

Ke stanovení jejich velikosti jsou k dispozici dvě metody:

metody statistické (typu A)

metody ostatní (typu B)

Statistickými metodami (typu A) jsou například výpočty standardní odchylky ze série nezávislých opakovaných měření.

Mezi metody ostatní (typu B) patří hlavně postupy využívající jiné než statistické přístupy a to údaje výrobce měřicí techniky, zkušenosti z předchozích sérií měření, údaje z návodů použitých měřicích přístrojů, znalosti podrobností použité měřicí metody apod.

Výpočet standardní nejistoty typu A:

Jak již bylo uvedeno, je výpočet založen na statistické analýze naměřených údajů. Jde o běžné statistické zpracování hodnot měřené veličiny získaných opakovanými přímými měřeními, jichž by mělo být alespoň deset. Je tedy k dispozici n naměřených údajů x_1, x_2, \dots, x_n . Potom je základní výsledek měření (odhad hodnoty měřené veličiny) představován aritmetickým průměrem.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardní nejistota typu A tohoto výsledku se rovná směrodatné odchylce aritmetického průměru a značí se $u_A(x)$.

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Výpočet standardní nejistoty typu B:

Standardní nejistota typu B se odhaduje pomocí úsudku na základě dostupných informací a zkušenosti.

- údaje výrobce měřicí techniky (technické parametry použitého zařízení, např. třída přesnosti měřicího přístroje nebo dvojice konstant charakterizujících chybu číslicového měřicího přístroje),
- zkušenosti s vlastnostmi chování materiálů a techniky a poznatky o nich,
- údaje získané při kalibraci a z certifikátů,

Postup vyhodnocení výsledné nejistoty typu B se skládá z následujících kroků:

- Vybereme možné zdroje dílčích nejistot tohoto typu Z_1, Z_2, \dots, Z_m . (Tyto zdroje jsou v praxi totožné s nezanedbatelnými ovlivňujícími veličinami daného měření, například teplotou okolí)
- Pro každý z těchto zdrojů Z_j určíme interval $\langle -\Delta Z_{j\max}, +\Delta Z_{j\max} \rangle$, jehož meze velmi pravděpodobně nebudou překročeny odchylkou ΔZ_j veličiny Z_j od jmenovité hodnoty této veličiny.
- Posoudí se rozdělení pravděpodobnosti odchylek v tomto intervalu a určí se jeho aproximace
- Standardní nejistota $u_B(Z_j)$ se vypočítá ze vztahu:

$$u_B(Z_j) = \frac{\Delta Z_{j\max}}{k}$$

kde k je hodnota příslušná ke zvolené aproximaci rozdělení pravděpodobnosti veličiny v intervalu. Pokud o této veličině nemáme žádné doplňující informace, předpokládáme, že je rozdělena na intervalu $\langle -\Delta Z_{j\max}, +\Delta Z_{j\max} \rangle$ rovnoměrně.

- Pro veličinu rozloženou rovnoměrně v intervalu šířky $2\Delta Z_{j\max}$ (a tedy nulovou vně tohoto intervalu) je:

$$u_B(Z_j) = \frac{\Delta Z_{j\max}}{\sqrt{3}}$$

Při použití číslicového měřicího přístroje je jedním ze zdrojů nejistoty rozlišitelnost poslední platné číslice. Přes neměnnost údaje při opakovaném měření není v tomto případě

nikdy nejistota nulová. Při jejím odhadu se použije model rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti v intervalu, který je vymezen rozlišovací schopností $\delta(z_j)$ daného přístroje a platí:

$$u_B(Z_j) = \frac{\delta(z_j)}{2\sqrt{3}}$$

V některých případech však může být známa již přímo hodnota standardní nejistoty $u_B(Z_j)$ (například z kalibračního certifikátu měřidla).

Odhady nejistoty $u_B(Z_j)$ jednotlivých zdrojů nejistot se přenášejí do nejistoty výsledku měření veličiny X a tvoří její složky.

$$u_B(x) = \sqrt{\sum_{q=1}^m A_q^2 u_B^2(Z_j)}$$

V případě, že je známa závislost $X = f(Z_1, \dots, Z_m)$, pak jsou jednotlivé koeficienty citlivosti A_q definovány parciálními derivacemi, tedy následujícím vztahem:

$$A_q = \frac{\partial f(X_1, \dots, X_m)}{\partial X_q}$$

Standardní kombinovaná nejistota:

V praxi je potřeba vyjádřit nejistoty typu A a nejistoty typu B společným jediným číslem. K tomu se používá celková nejistota, obvykle nazývaná kombinovaná nejistota a označována u_C , která se určuje podle vztahu:

$$u_C(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$$

Rozšířená nejistota:

Výsledek měření ve tvaru $y \pm u_C$ definuje skutečnou hodnotu měřené veličiny s poměrně malou pravděpodobností, přibližně 60%.

Proto je snaha stanovit interval, ve kterém se hodnota nachází s pravděpodobností blíží se 100%. Do praxe se tudíž zavádí tzv. rozšířená nejistota definovaná jako:

$$U = k_r u_C$$

kde k_r je koeficient rozšíření. V praxi se nejčastěji pracuje s $k_r = 2$, což odpovídá pravděpodobnosti 95% v případě normálního rozdělení.

Skutečná hodnota se nachází s konfidenční pravděpodobností v intervalu $y \pm U$.

Příklad stanovení nejistot při měření dráhy:

Na tomto příkladu je popsán postup výpočtu a stanovení nejistoty konkrétního zapojení pneumatického obvodu, které jsem řešil v rámci DP. Vybral jsem pneumatický obvod, kde je válec brzděn pouze pomocí brzdy. V tomto případě se po patnácti měřeních dosáhne potřebných hodnot pro výpočet chyby.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	227,7	228	228,3	228,3	228	228,3	228	227,7
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	227,4	227	228,7	229,1	229,7	229,8	228,6	

Tab. 1 Naměřená délka vysunutí pístnice.

Odhadem *průměrné délky* \bar{l} je aritmetický průměr ze všech patnácti naměřených hodnot

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i = 228,31 \text{ mm}$$

Standardní nejistota typu A je reprezentována směrodatnou odchylkou souboru naměřených hodnot

$$u_A(l) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2} = 0,202241 \text{ mm}$$

Standardní nejistota typu B. Přesnost měřicího přístroje M5050 je pro analogový vstup 0,01%, kterou označíme jako chybu δ_1 v procentech pracovního rozsahu U_R který je 500mm a přesnost snímače polohy, která je pro daný typ daná konstantní hodnotou $\pm 0,35$ mm. Interval, ve kterém se může pohybovat údaj přístroje, se určí ze vztahu:

$$U_{\max} = \left| \frac{\delta_1}{100} U_R \right| + 0,35 = \frac{0,01}{100} 500 + 0,35 = 0,4 \text{ mm}$$

Protože předpokládáme rovnoměrné rozdělení hodnot v tomto intervalu, bude standardní nejistota typu B

$$u_B(l) = \frac{U_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23094 \text{ mm}$$

Kombinovaná standardní nejistota se získá sloučením složek u_A a u_B . Platí

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{(0,202241)^2 + 0,23094^2} = 0,306977 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota s koeficientem rozšíření $k_r = 2$ je pak

$$U(l) = k_r u_C(l) = 2 \cdot 0,306977 = 0,613954 \text{ mm}$$

Výsledek měření pak lze podle zavedených zvyklostí zapsat:

$$l = (228,3 \pm 0,61395) \text{ mm}$$

3. Popis a naměřené hodnoty:

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé obvody tak, jak byly sestaveny včetně pneumatických a elektrických schémat. Cílem všech měření je, dopracovat se k hodnotě spolehlivosti zastavení v mezipoloze. Vzhledem k tomu, že každý obvod byl sestaven zvlášť a měl jiné nastavení a vyladění, je pro vyhodnocení důležitá spíše odchylka měření než aritmetický průměr. Výpočet této odchylky (chyby) byl počítán postupem, který je popsán v kapitole 2.4 Výpočet chyby měření, nejistota typu B je pro všechny obvody stejná.

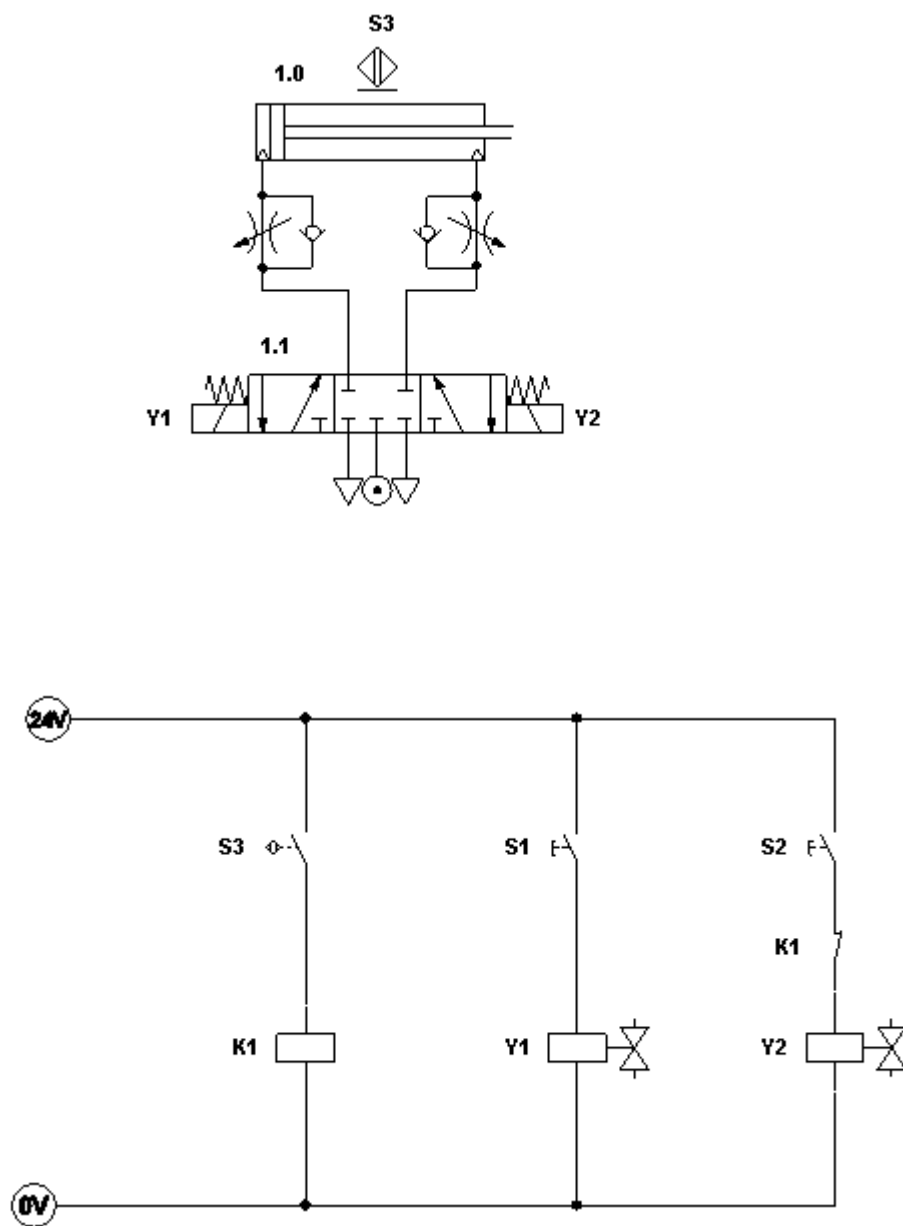
3.1 Elektropneumatický obvod s rozváděčem 5/3:

Zastavování pneumatického válce je v tomto případě realizováno pomocí elektromagneticky řízeného rozváděče 5/3, který má střední polohu uzavřenou. To znamená, že pokud na elektromagnetu Y1 ani Y2 není přivedeno napětí, rozváděč je ve střední poloze a vstup i výstup pneumatického válce je utěsněn – válec je zabrzděn. Po zmáčknutí tlačítka S2 je přivedeno napětí na elektromagnet Y2, rozváděč se přestaví do dané polohy a pístnice se začne vysouvat. Jakmile snímač indikuje požadovanou polohu pístu, sepne relé K1, která rozpojí kontakt mezi S2 a Y2 a protože je rozváděč ve střední poloze středěn pružinami, vrátí se do střední polohy a válec se zabrzdí. Z měřicího přístroje se odečte a запиše hodnota. Následně stisknutím tlačítka S1 je přivedeno napětí na elektromagnet Y1 a rozváděč se přestaví do opačné polohy – pístnice se začne zasouvat. Zároveň magnetický snímač přestane indikovat dosažení polohy a relé K1 opět spojí S2 a Y2, čímž umožní opětovné vysunutí pomocí tlačítka S2.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	249,8	249,3	250,1	249,6	249	250,4	249,7	249,1
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	249	248,9	248,5	248,4	248,4	249,2	249,7	
Výpočty:	$\bar{l}=249,27\text{mm}$		$u_A=0,16\text{mm}$		$u_C(l)=0,28\text{mm}$		$U(l)=0,56\text{mm}$	
Výsledná hodnota:		$l=249,27\pm 0,56\text{mm.}$						

Tabulka 3.1-1

Rychlost pohybu pístu v tomto případě byla nastavena pomocí škrticího ventilu na přibližnou hodnotu 110m/s. Použito bylo škrcení na výstupu. Pohyb i zastavení bylo plynulé, bez trhavých pohybů. Na obrázku 3.1-1 je pneumatické a elektrické schéma tohoto obvodu.



Obr. 3.1-1 Elektropneumatické schéma obvodu s 5/3 rozváděčem.

3.2 Elektropneumatický obvod s brzdou:

Pro zastavování pístnice pneumatického válce je v tomto případě použita integrovaná čelist'ová pasivní brzda. V základní poloze je válec brzděn základní uzavřenou polohou rozváděče 5/3. Po připojení obvodu ke zdroji napětí se rozváděč brzdy přesune do otevřené polohy a brzda je deaktivována. Po zmáčknutí tlačítka S1 je přivedeno napětí na elektromagnet Y1 a rozváděč je přestaven do polohy pro vysouvání, pístnice se začne vysouvat. Zastaví se v momentě, kdy indukční čidlo S3 indikuje požadovanou polohu, přivede napětí do cívky relé K1 a ta odpojí elektromagnet Y3 od napětí – rozváděč 5/2 se přesune a odpojí brzdou od zdroje stlačeného vzduchu, čímž zabrzdí pístnici. K1 je relé se spožděným odpadnutím kotvy. Jeho kontakt se rozezne v okamžiku přivedení napětí na cívku, ale sepne se s časovým zpožděním. To umožní odečtení polohy a poté odbrzdění pístnice pro její zasunutí zapnutím elektromagnetu Y3. Stisknutím tlačítka S2 je přivedeno napětí na elektromagnet Y2 a rozváděč je magnetem přesunut do opačné polohy, pístnice se zasouvá. V tabulce číslo 3.2-1 jsou hodnoty pro měření bez zátěže, tabulka 3.2-2 je s hodnotami měření se zátěží. Touto zátěží byly dva ocelové kotouče, každý o hmotnosti 2,855 kg. Elektropneumatické schéma obvodu je na obrázku 3.2-1.

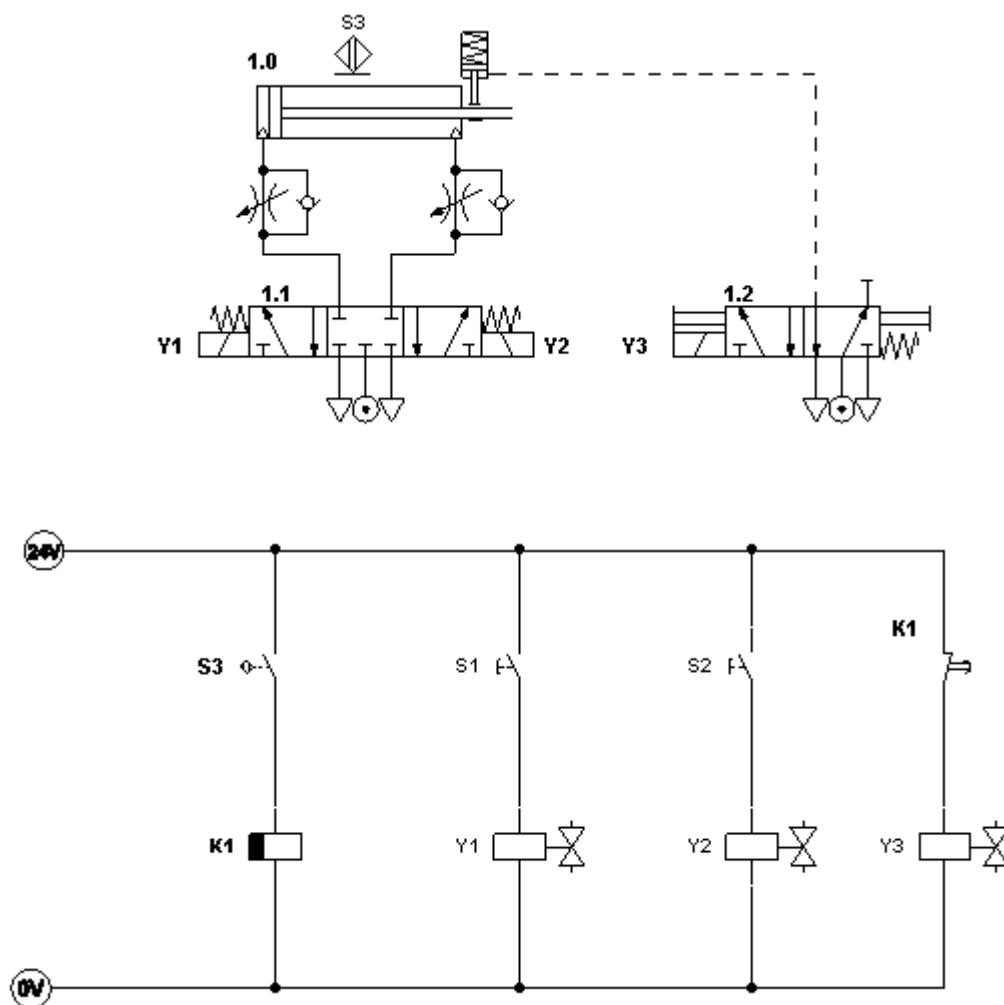
Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	248	248,4	247,7	246,2	248	249	247,7	248,6
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	248,7	248,6	247,7	247,2	247,7	248,6	248,4	
Výpočty:	$\bar{l}=248,03\text{mm}$		$u_A=0,18\text{mm}$		$u_C(l)=0,295\text{mm}$		$U(l)=0,59\text{mm}$	
Výsledná hodnota:	$l=248,03\pm 0,59\text{mm.}$							

Tabulka 3.2-1

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	249	250,7	250,7	250,7	250,1	252,2	252,5	252,1
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	251,1	2252,2	249,8	252,8	251,4	253,2	250	
Výpočty:	$\bar{l}=251,23\text{mm}$		$u_A=0,32\text{mm}$		$u_C(l)=0,393\text{mm}$		$U(l)=0,77\text{mm}$	
Výsledná hodnota:	$l=251,23\pm 0,77\text{mm.}$							

Tabulka 3.2-2

Z naměřených a vypočtených hodnot vyplývá, že po zatížení se zvětší nejen délka vysunutí, ale i celková nejistota. Rychlost pohybu u obou měření jsem nastavil na škrticím ventilu na zhruba 110m/s.



Obr. 3.2-1 Elektropneumatický obvod s brzdou.

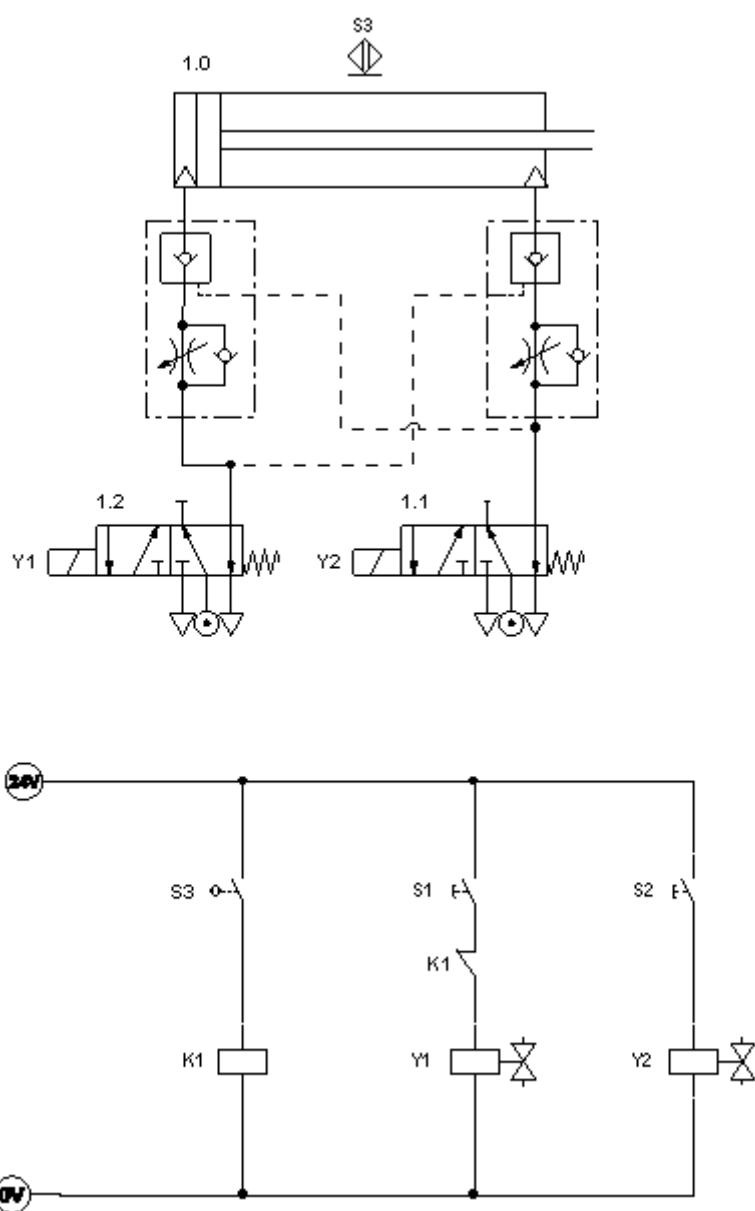
3.3 Elektropneumatický obvod s ASP ventily:

Zastavení pohybu pístnice lze realizovat také pomocí ASP ventilů neboli pneumatických zámků. Tyto ventily jsou kombinací škrticího ventilu s obtokem a jednosměrného řízeného ventilu. To znamená, že v jednom směru je tento prvek volně průchozí a v opačném směru zablokovaný. Odblokuje se po přivedení řídicího signálu na řídicí vstup a pak jde stlačený vzduch přes škrticí ventil. Jak je patrné z obrázku 3.3-1 pro vysouvání i zasouvání pístnice slouží dva elektromagneticky řízené rozváděče 5/2. Jak na vstupu, tak na výstupu jsou napojeny jednosměrné řízené ventily a to tak, že řídicí vstup jednoho je napojen na vedení stlačeného vzduchu druhého před druhým ventilem. Pokud je tedy stlačeno tlačítko S1, tlak vzduchu otevře ventil na výstupu a tím umožní vypouštění vzduchu na výstupu. Zároveň stlačený vzduch začne proudit do válce a pístnice se začne vysouvat. Jakmile se píst válce dostane do oblasti, kde je umístěno čidlo S3, přivede toto čidlo napětí na cívku relé K1 a ta rozpojí S1 a Y1, rozváděč se přesune do základní polohy a odvzdušní přívodní větve. To způsobí pokles řídicího tlaku a uzavření řízeného ventilu na výstupu, zastavení pohybu. Stisknutím tlačítka S2 je přivedeno napětí na elektromagnet Y2 a dojde k přestavení druhého rozváděče, odblokování řízeného ventilu na výstupu (zasouvání) a zasunutí pístnice. K okamžitému zastavení dojde také v případě výpadku proudu nebo tlaku.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	256,3	257,2	256,5	256,2	255,9	255,2	255,4	255,7
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	255,9	256,4	255,6	255,9	255,7	255,6	255,9	
Výpočty:	$\bar{l}=255,96\text{mm}$		$u_A=0,13\text{mm}$		$u_C(l)=0,26\text{mm}$		$U(l)=0,53\text{mm}$	
Výsledná hodnota:	$l=255,96\pm 0,53\text{mm.}$							

Tabulka. 3.3-1 Elektropneumatický obvod s ASP ventily.

Tento obvod pracuje s lepší přesností oproti předchozím a zároveň je schopen i rychlejšího pohybu. Rychlost, při které obvod reagoval, byla nastavena pomocí škrticího ventilu okolo 220mm/s.



Obr. 3.3-1 Elektropneumatický obvod s ASP ventily.

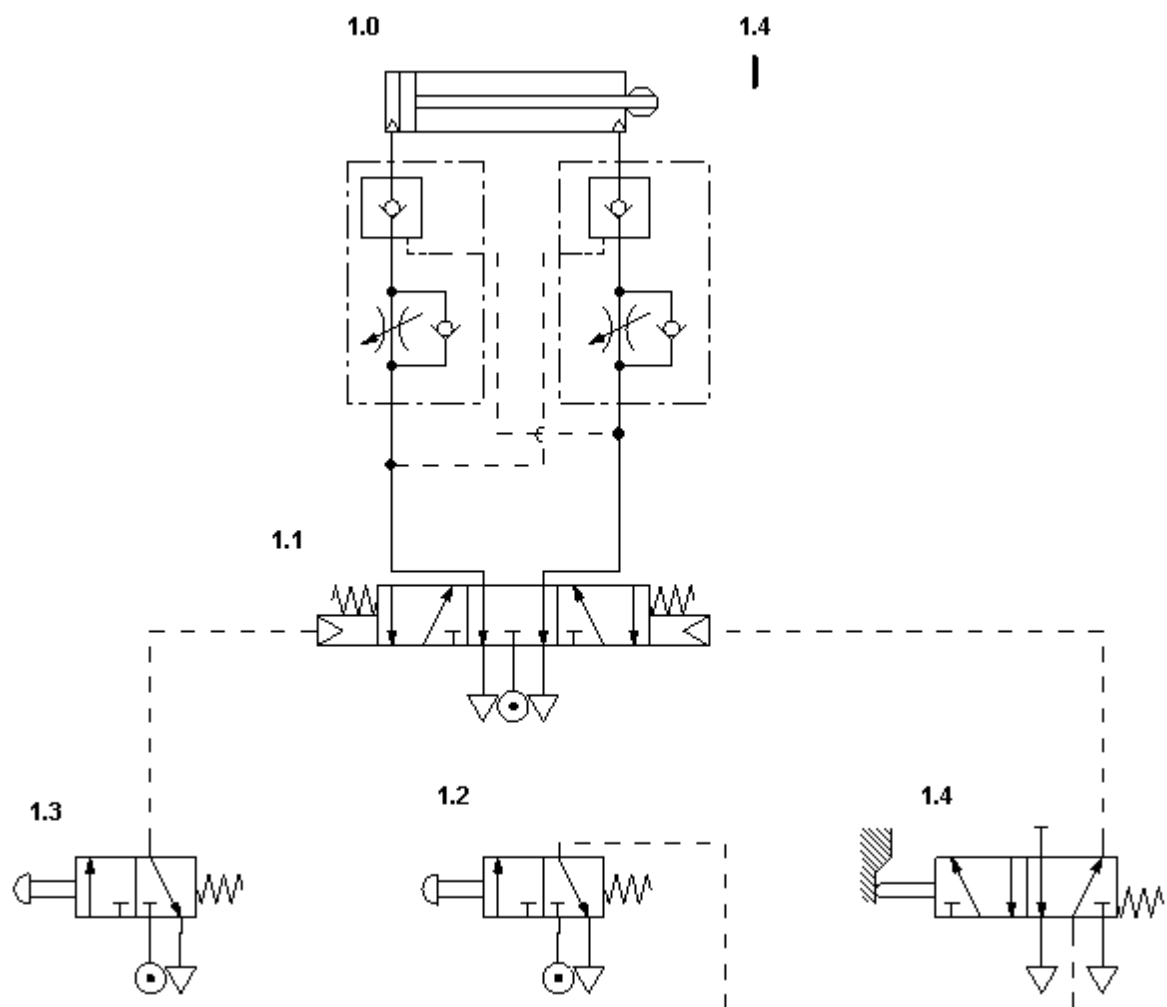
3.4 Pneumatický obvod s ASP ventily:

Tento čistě pneumatický obvod pro řešení mezipolohy je tvořen dvěma řízenými jednosměrnými ventily ASP, pneumaticky ovládaným rozvaděčem 5/3 s odvodušnou střední polohou, dvěma tlačítky a rozvaděčem 5/2 řízeným mechanicky. Po stisknutí tlačítka 1.2 je veden stlačený vzduch přes rozvaděč 1.4 (v základní poloze otevřený), na vstup pneumatického ovládání, které přestaví rozvaděč 1.1 do dané polohy a větev pro vysouvání se dostane pod tlak. Zároveň se odblokuje řízený jednosměrný ventil v opačné větvi a pístnice se vysouvá. Jakmile se pístnice dostane do požadované polohy, sepne pomocí mechanického kontaktu rozvaděč 1.4 a ten zablokuje tlakový přívod na rozvaděč 1.1, který se přestaví do nulové polohy a odvodušní obě přívodní větve válce. Tím se zablokují řízené ventily a píst se zastaví. Po zmáčknutí tlačítka 1.3 se rozvaděč 1.1 přestaví do polohy pro zasouvání a zároveň odblokuje řízený ventil v opačné větvi. Tento obvod slouží jak k zastavování v mezipoloze, tak i jako pojistné zastavení při odstávce stlačeného vzduchu.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	231,6	231,8	231,8	232,6	232,6	232,6	233,3	233,7
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	233	232,9	232,5	232,3	233	233	232,5	
Výpočty:	$\bar{l}=232,61\text{mm}$		$u_A=0,15\text{mm}$		$u_C(l)=0,275\text{mm}$		$U(l)=0,55\text{mm}$	
Výsledná hodnota:		$l=232,61\pm 0,55\text{mm}.$						

Tabulka 3.4-1 Pneumatický obvod se zámkem.

Vzhledem k tomu, že je tento obvod zcela pneumatický, jeho přesnost je srovnatelná s elektropneumatickými obvody. Dle mého názoru je toto řešení zajímavé hlavně díky své nenáročnosti na řízení a odpadá zde nutnost použití drahých snímačů, čidel a elektromagneticky ovládaných rozvaděčů. Díky provedení mechanického kontaktu je vhodný i pro vyšší rychlosti a s úplným otevřením škrticího ventilu a rychlostí okolo 220mm/s neměl problém zareagovat.



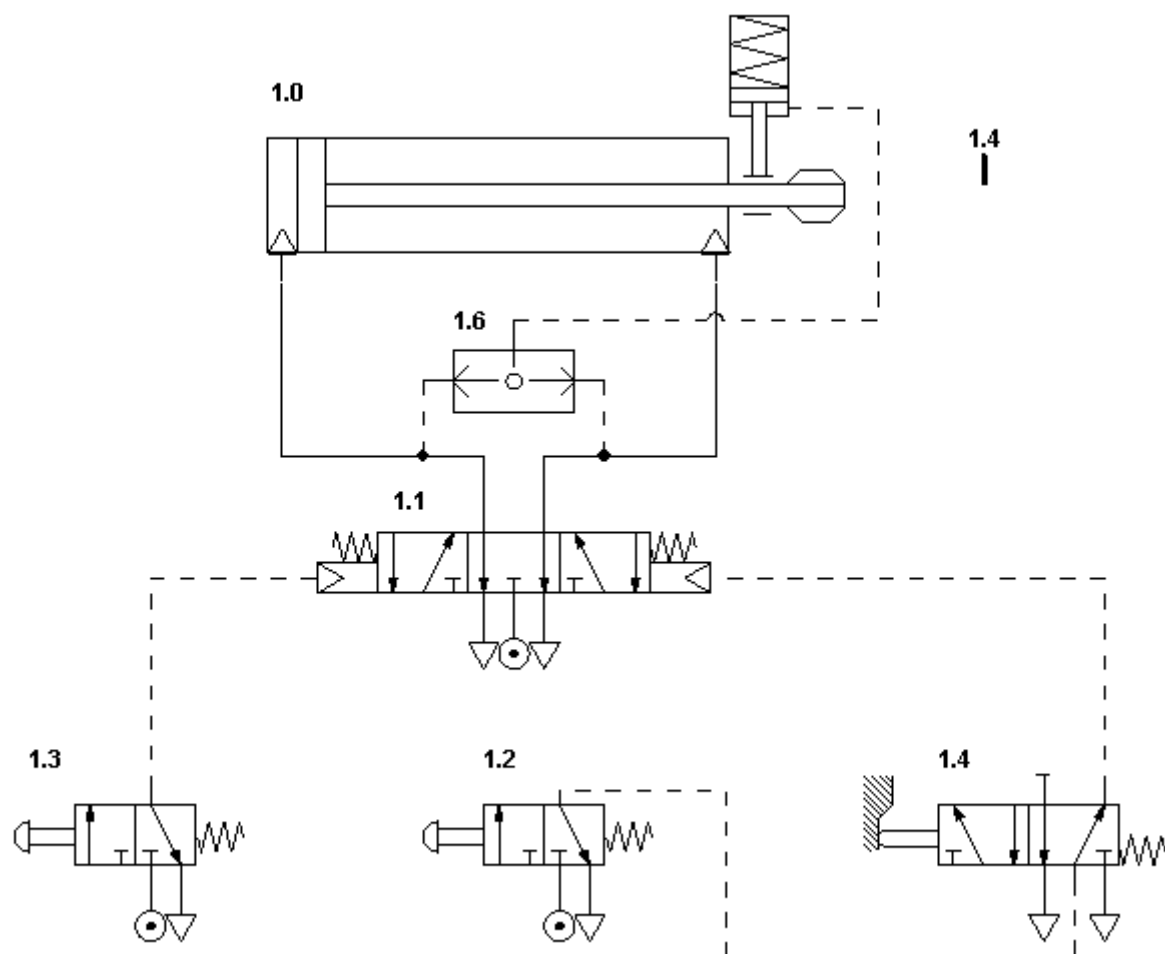
Obr. 3.4-1 Pneumatický obvod se zámekm.

3.5 Pneumatický obvod s brzdou:

V tomto zcela pneumatickém obvodu je k zastavení válce v mezipoloze použita pouze pneumaticky ovládaná pasivní brzda integrovaná na předním víku válce. Ze schématu na obrázku 3.5 vyplývá, že pokud je rozváděč 1.1 v základní poloze, tak obě přívodní větve jsou odvětrané a brzda je zabrzděná. Po zmáčknutí tlačítka 1.2 je tlak veden přes mechanicky ovládaný rozváděč 1.4, v základní poloze průchozí, který přivede signál na ovládání rozváděče 1.1, ten se přestaví do dané polohy a přivede tlak do větve pro vysouvání. Současně je pomocí logického ventilu přiveden tlak na pneumatickou brzdu, která se odbrzdí. Pístnice se vysouvá. Jakmile se pístnice dostane do kontaktu s mechanickým ovládáním rozváděče 1.4, řídicí signál na rozváděč 1.1 se odvětrá, rozváděč se přesune do základní polohy a odvětráním brzdě se tato zablokuje a zastaví pohyb pístnice. Zpět se pístnice dostane stisknutím tlačítka 1.3, přestavením rozváděče 1.1 a odblokováním brzdě.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	227,7	228	228,3	228,3	228	228,3	228	227,7
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	227,4	227	228,7	229,1	229,7,	229,8	228,6	
Výpočty:	$\bar{l}=228,31\text{mm}$		$u_A=0,2\text{mm}$		$u_C(l)=0,307\text{mm}$		$U(l)=0,61\text{mm}$	
Výsledná hodnota:	$l=227,31\pm 0,61\text{mm.}$							

Tabulka 3.5-1 Pneumatický obvod s brzdou.



Obr. 3.5-1 Pneumatický obvod s brzdou.

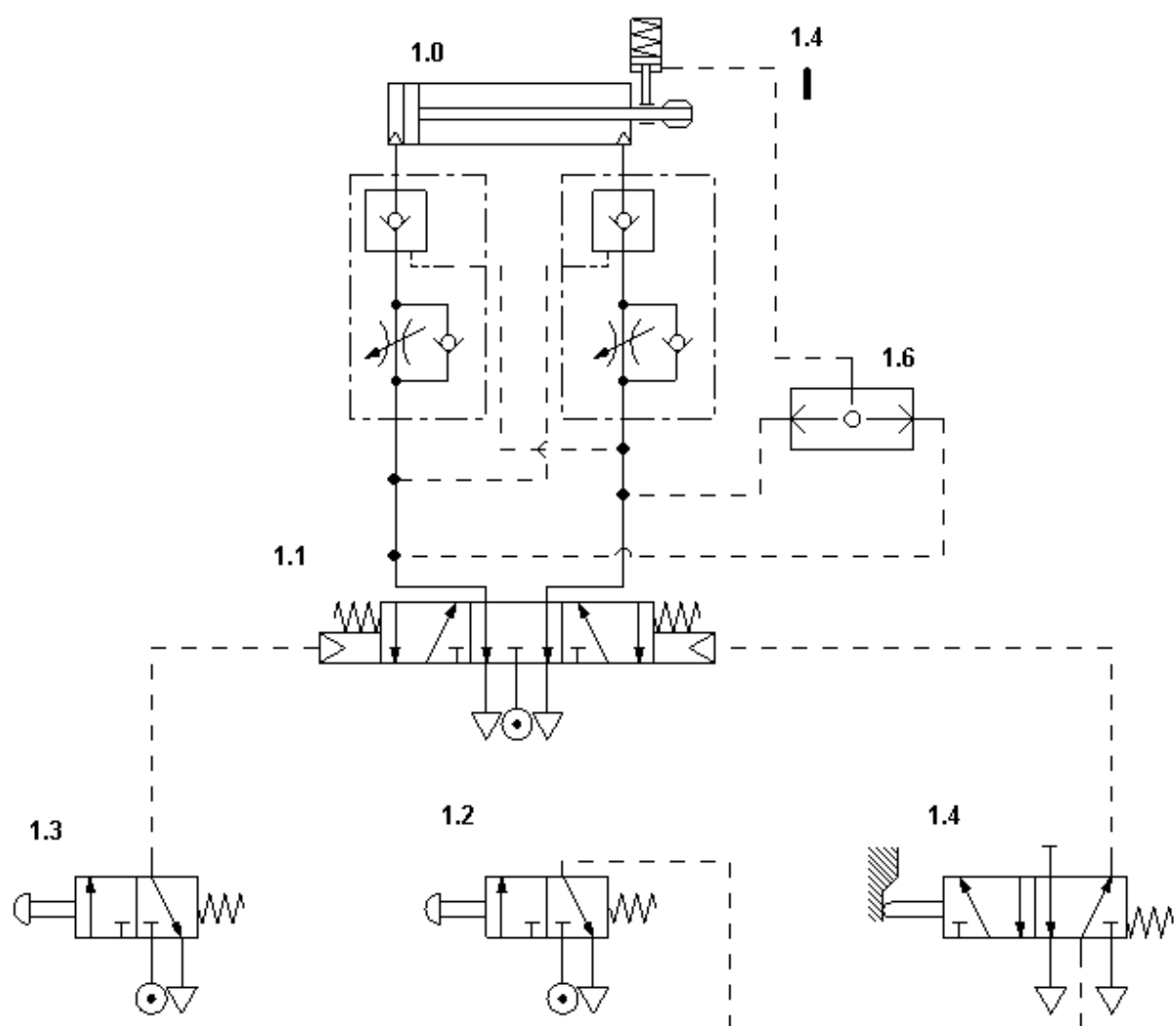
3.6 Pneumatický obvod s brzdou a zámkem:

Jako poslední obvod pro zastavování válce v mezipoloze jsem sestavil pneumatický obvod, který je kombinací řízených ASP ventilů a pneumatické brzdy. Je to kombinace předchozích dvou schémat, tvořený dvěma tlačítky, mechanicky ovládaným rozvaděčem 5/2, pneumaticky ovládaným rozvaděčem 5/3 s odvětranou střední polohou, dva řízené ASP ventily, logický ventil s funkcí OR a pneumatický válec s brzdou. Po stisknutí tlačítka 1.2 je tlak veden přes rozvaděč 1.4 na ovládání rozvaděče 1.1, který se přestaví do polohy pro vysouvání válce. V tomtéž okamžiku dojde zároveň k otevření řízeného ventilu na výstupní větvi a odblokování brzdy, to umožní vysouvání pístnice. Když pístnice mechanicky přestaví rozvaděč 1.4, odvětrá tím řídicí tlakový signál na ovládání rozvaděče 1.1 a ten se vrátí do základní polohy a odvětrá obě větve válce. Tím se odvzdušní a zablokuje brzda a uzavřou se řízené ventily. Pístnice se zastaví. Její zpětné zasunutí zajistí zmáčknutí tlačítka 1.3, přivedením řídicího tlaku na rozvaděč 1.1, přestavením do polohy pro zasouvání, odblokováním brzdy a ASP ventilů. Logický ventil je napojen na obě tyto větve a jeho výstupem je tlak větší z nich. To zaručuje, že pokud je aspoň jedna z těchto větví pod tlakem, brzda je odbrzděna. V tabulce 3.6-1 jsou naměřené a vypočtené hodnoty. Schéma na obrázku 3.6-1 znázorňuje zapojení obvodu.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Délka (mm)	233,2	233,1	233,9	233,4	233,3	232,7	233,9	233,9
Číslo měření	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
Délka (mm)	235	235,1	235,4	235,4	236,4	234,3	236,7	
Výpočty:	$\bar{l}=234,38\text{mm}$		$u_A=0,32\text{mm}$		$u_C(l)=0,392\text{mm}$		$U(l)=0,78\text{mm}$	
Výsledná hodnota:	$l=234,38\pm 0,78\text{mm.}$							

Tabulka 3.6-1 Pneumatický obvod s brzdou a zámkem.

Tento obvod měl největší odchylku naměřených hodnot a také jeho pohyb i zastavování nebylo plynulé. Projevoval se značnou nestabilitou, vibracemi a rázy. Z toho vyplývá, že použití dvou brzdících mechanismů najednou není výhodné jak z hlediska přesnosti a spolehlivosti obvodu, tak i ze stránky jeho ceny.

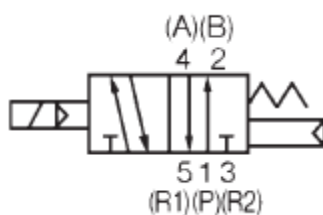


Obr. 3.6-1 Pneumatický obvod s brzdou a zámek.

3.7 Specifikace použitých prvků:

Elektromagnetický rozváděč 5/2:

Při laboratorním měření jsem použil místo rozváděče 5/3 v základní poloze odvzdušněného, dva monostabilní rozváděče typu 5/2. Typ VQ2100N-5-Q od SMC. Je to elektromagnetický nepřímo řízený rozváděč s montáží na připojovací desku s ocelovým šoupátkem. Jeho schematická značka je na obr.



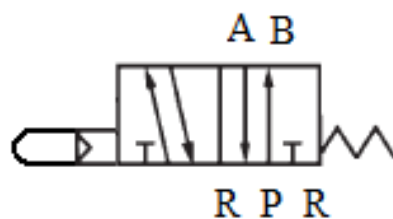
Obr. 3.7-1 Monostabilní elektromagnetický rozváděč 5/2

Technické údaje:

Způsob těsnění	ocelové šoupátko
Médium	stlačený vzduch (5 μ m)
Max. provozní tlak (MPa)	0,7
Min. provozní tlak (MPa)	0,1
Jmenovité napětí cívek (V DC)	24
Povolené kolísání napětí	$\pm 10\%$ jmenovitého
Příkon (W)	1,0
Reakční doba (ms)	22
Průtok (l_n/min)	785

Mechanickopneumatický rozváděč 5/2:

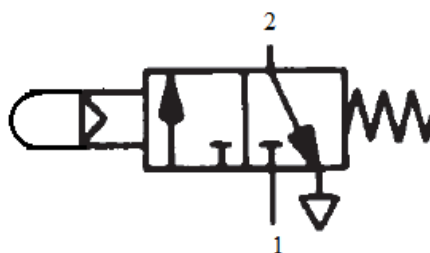
Pro pneumatické řešení úlohy jsem použil tento mechanicky ovládaný rozváděč 5/2 který je v základní poloze držen pomoví pružiny, po mechanickém kontaktu (tvar anténky) je pneumaticky přestaven do polohy 1. Tento rozváděč od firmy BOSCH je schématicky znázorněn na Obr.



Obr. 3.7-2 Mechanicko-pneumatický rozváděč 5/2

Tlačítko 3/2:

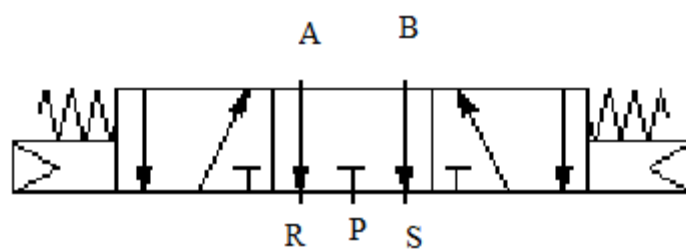
Pro vysouvání i zasouvání pneumatického válce jsem použil tlačítko typu 3/2 FESTO s označením SVS-3-1/8. Toto tlačítko je v základní poloze uzavřené a po zmáčknutí jím začne procházet stlačený vzduch. Jmenovitá velikost je 3,5 mm a maximální průtok 120 l_n/min.



Obr. 3.7-3 Tlačítko 3/2

Pneumaticky ovládaný rozváděč 5/3:

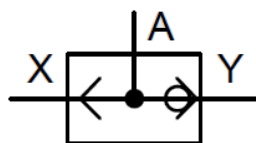
Dalším použitým prvkem je pneumaticky ovládaný rozváděč BOSCH 5/3 se střední polohou odvětranou. Střední poloha je stabilizována pomocí pružiny na každé straně. V této poloze je větev A i B odvětraná přes tlumiče hluku do atmosféry.



Obr. 3.7-4 Pneumaticky ovládaný 5/3 rozváděč.

Logický ventil OR:

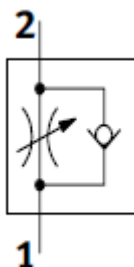
Pro ovládání brzdy pneumatického válce byl použit logický ventil s funkcí OR (nebo), který po přivedení tlaku na vstupní větve X nebo Y uvolní tento tlak do výstupní větve A. Odvětraný vstup je automaticky zablokován, pokud jsou oba vstupy současně pod tlakem, vyšší tlak je upřednostněn. Ventil FESTO OS-1/8B pracuje s tlaky 1-10 bar a průtokem 220 l_n/min.



Obr. 3.7-5 Logický ventil s funkcí OR.

Škrticí ventil s obtokem:

Škrticí ventil FESTO GR-1/8 je kombinovaný ventil pomocí kterého, je průtok vzduchu škrcen pouze v jednom směru a to pomocí pohybu šoupátka mechanicky, otáčením šroubu. V opačném směru je průtok volný díky jednosměrnému ventilu (obtoku). Ventil pracuje s tlaky 0,1-10 bar. Používá se pro řízení rychlosti pohybu pístnice u pneumatických válců nebo otáček u rotačních pneumatických pohonů.

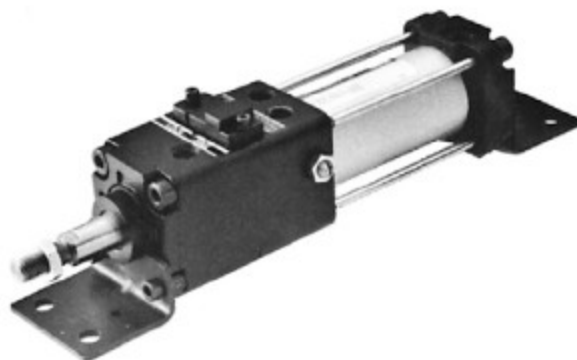


Obr. 3.7-6 Škrticí ventil s obtokem.

Pneumatický válec s brzdou:

Hlavním prvkem všech obvodů byl pneumatický dvojčinný válec s pasivní čelist'ovou brzdou značky SMC C92LA-DB50-500 s průměrem pístu 50mm a délkou zdvihu 500mm. Pístnice je zakončená závitem M12 s jemným stoupáním.

Průměr pístu	50 mm
Průměr pístnice	20 mm
Závit na pístnici	M12x1.25
Připojení tlaku	1/4G
Maximální rychlost vysouvání	500 mm/s
Rozsah pracovních tlaků	0,8 – 10 bar
Rozsah pracovních teplot	5°C – 60°C
Pracovní médium	Suchý vzduch, filtrovaný na <10 µm

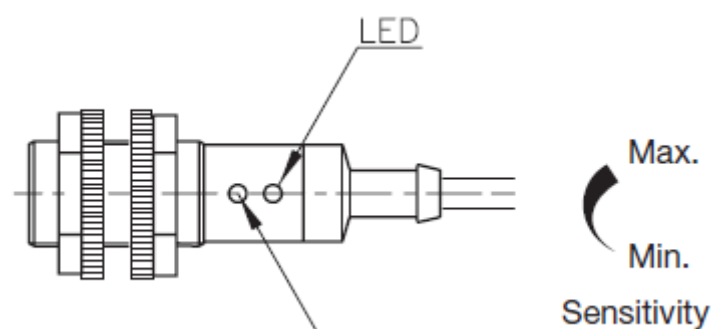


Obr. 3.7-7 Pneumatický válec s brzdou.

Optické čidlo:

Čidlo pro detekci polohy CARLO GALVAZZI tripleshield CA18CLF08PA, je bezkontaktní kapacitní senzor pracující na principu optického snímání polohy. Čidlo obsahuje šroubek pro seřízení, vzdálenost snímání lze nastavit na 3 – 8 mm. Indikace pro výstup "ON" signalizuje žlutá LED.

Nastavitelná snímací vzdálenost	3 - 8 mm
Jmenovité napětí	10 – 40 VDC
Proudový výstup	Max. 200 mA NPN nebo PNP
Indikace výstupního signálu "ON"	Žlutá LED



Obr. 3.7-8 Optické čidlo.

Indukčnostní snímač polohy:

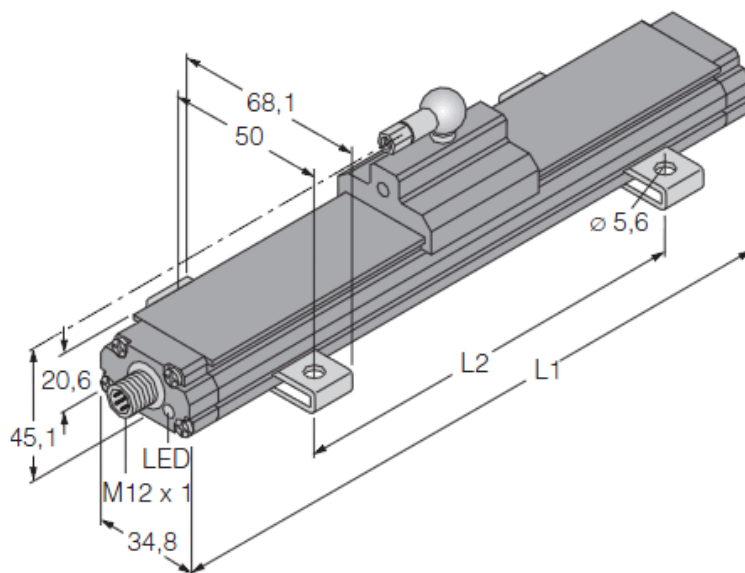
Čidlo od firmy FESTO modelové řady SMT0-1-PS-S-LED-246 pracuje na principu magnetické indukce. Spínač, je typu PNP – snímá kladný pól.

Snímaný výstup	PNP snímá kladný pól
Rozsah provozního napětí	10 – 30 VDC
Maximální spínaný proud	200 mA
Maximální spínací výkon	6 W
Čas sepnutí	≤ 1 ms
Čas rozepnutí	≤ 1 ms
Indikace sepnutí	žlutá LED
Reprodukovatelnost spínací polohy	$\pm 0,1$ mm

Lineární senzor TURCK:

Lineární senzory TURCK jsou dostupné ve velkém množství různých rozměrů. Charakteristickým znakem těchto senzorů je výborná linearita, reprodukovatelnost a rozlišovací schopnost. Výstupní hodnoty jsou absolutní, návrat do referenčního bodu po výpadku napětí odpadá. Díky robustnímu provedení jsou vhodné pro průmyslové použití. Jsou odolné vůči otřesům, vibracím, nečistotám i vlhkosti a mají vysokou stabilitu v širokém teplotním rozsahu. Pracují na bezdotykovém principu a při odborném používání nedochází k opotřebení a nevyžadují údržbu. Oblast jejich použití je téměř neomezená: obráběcí stroje, lisy, vstřikovací, rovnací stroje, dopravní systémy, zvedací zařízení a další. Pouzdro senzorů

série Q21 je z hliníkového profilu o průřezu pouhých 20 x 35 mm, což umožňuje použití s prostorovou náročností.



Obr. 3.7-9 Snímač polohy TURCK.

Tyto senzory jsou k dispozici s výstupy 0...10V, -10V...+10V a 4...20mA. Pro připojení k vyhodnocovací jednotce slouží 4pinový konektor M12. Stav senzoru je indikován na tříbarevné LED. Pomocí tzv. programovacího pinu (Pin2) je možné provádět některá nastavení.

Nastavení síly pole magnetu: pokud je použit volný snímací element, je třeba nastavit

senzorovou jednotku na změněnou intenzitu pole. Volný snímací element může být až 9 mm od senzoru. Postup nastavení: instalovat snímací element poblíž mrtvé zóny magnetu (ale ještě v aktivním rozsahu) – vypnout napájení senzoru – propojit programovací Pin2 a zemnicí Pin 3 – zapnout napájení senzoru, indikační LED začne blikat červeně. Signalizuje, že senzor je v režimu AGC. Indikační LED začne blikat zeleně, pokud byl senzor nastaven na sílu pole a hodnota byla uložena v nedestruktivní paměti – vypnout napájení – odstranit propoj – zapnout znovu napájení, senzor bude pracovat v běžném režimu

Nastavení nulového a koncového bodu:

Zapnout napájení senzoru – instalovat snímací element v místě, kde je požadován nulový bod – na okamžik propojit Pin 2 a Pin 3 – instalovat senzor polohy v místě, kde

je požadován koncový bod – na okamžik propojit Pin 2 a Pin 1. Senzor bude pracovat v nastaveném rozsahu.

LED indikace:

U standardních senzorů je funkce indikována vícebarevnou LED.

Zelená: snímací element se nachází v měřicím rozsahu.

Červená: od snímacího elementu nejsou přijímány žádné signály.

Žlutá: snímací element je mimo nastavený rozsah, ale je ještě v aktivní oblasti.

4. Porovnání a vyhodnocení:

Dle zadání jsem vypracoval práci, v jejímž úvodu jsem přiblížil a popsal problematiku zastavování pneumatického válce v mezipoloze. V této kapitole je rovněž obsažen jakýsi úvod do proporcionálního řízení, popis programovatelného automatu SPC11 a možnosti Soft Stopu. Tento moderní způsob zastavování v mezipoloze je velice efektivní co se týče dosahované přesnosti, rychlosti a průběhu zrychlení a dobřzdování pohonu. Jeho hlavními výhodami jsou mimo přesnost a rychlost pohybů také příznivá cena, samotná jednoduchost konstrukce s dlouhou životností a nenáročnost na zapojení a údržbu.

Ve druhé kapitole je popsáno měření na různých obvodech, sestavení a zapojení těchto obvodů. Je zde popsán výpočet chyby a nejistoty měření s příkladem pro výpočet na pneumatickém obvodu s brzdou (3.5).

Ve vyhodnocení měření jsou popsána jednotlivá zapojení, jejich schémata a tabulky s výsledky měření. První tři obvody tvoří elektropneumatické schémata. Všechny se vyznačují zhruba stejnou přesností i plynulostí pohybu. Obvod s řízenými ventily ASP měl však nejnižší rozšířenou nejistotu a velice plynulé pohyby. Podobné vlastnosti měl i obvod se zastavováním pomocí uzavřené středové polohy rozváděče.

Zbylé tři obvody byly ryze pneumatické a to zastavování pomocí pneumatických zámků, brzdy a jejich kombinace. Samostatně tyto prvky fungovaly na srovnatelné úrovni jako elektropneumatické obvody. Obvod se zámkou i brzdou však vykazoval velké odchylky d průměrné hodnoty a pohyb pístu byl sekaný s vibracemi. Tento způsob zastavování není vhodný jak z hlediska spolehlivosti, tak z finančního hlediska.

Při řešení kde nebyla použita brzda jako prvek pro zastavení, byla tato brzda odbrzděna nastálo přivedením na zdroj tlaku.

Nejoptimálnější řešení pro realizaci mezipohy pneumatického válce se mi jeví použití řízených jednosměrných ventilů ASP a to jak z pohledu přesnosti, opakovatelnosti a rychlosti, tak z cenového hlediska.

5. Literatura:

[1] TRADE AND TECHNICAL PRESS: Pneumatic handbook 4th edition.

Morden, Velká Británie, 1998, 654 s. ISBN 0-85461-056-1

2] SMC TRAINING: Stlačený vzduch a jeho využití 2. Vydání.

[3] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl I. Pneumatické prvky a systémy*. 2.vydání.

[4] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl II. Řízení pneumatických systémů*.

Ostrava: VŠB-TUO, 2005. 94 s. ISBN 80-248-0880-3

[5] KOPÁČEK, J. ŽÁČEK, M.: Cvičení z řízení pneumatických systémů.

Skripta VŠB-TU Ostrava, 2004, 1. vydání, ISBN 80-248-0692-4

[6] Katalog firmy SMC, dostupný z www.smc.cz

[7] Katalog firmy Festo, dostupný z www.festo.cz

[8] Katalog firmy Rexroth, dostupný z www.boschrexroth.com

[9] Katalog firmy Balluff, dostupný z www.balluff.cz

[10] Katakog firmy TURCK, [dostupný z www.turck.com](http://www.turck.com)

Poděkování

Nakonec bych chtěl poděkovat Ing. Miloslavu Žáčkovi za odborné vedení, důležité rady a pomoc při sestavování a zapojování jednotlivých obvodů v laboratoři. Rovněž jeho trpělivosti a ochoty při konzultacích si velice vážím. Zároveň děkuji Ing. Pavlu Bendovi za zapůjčení pneumatického válce s brzdou.